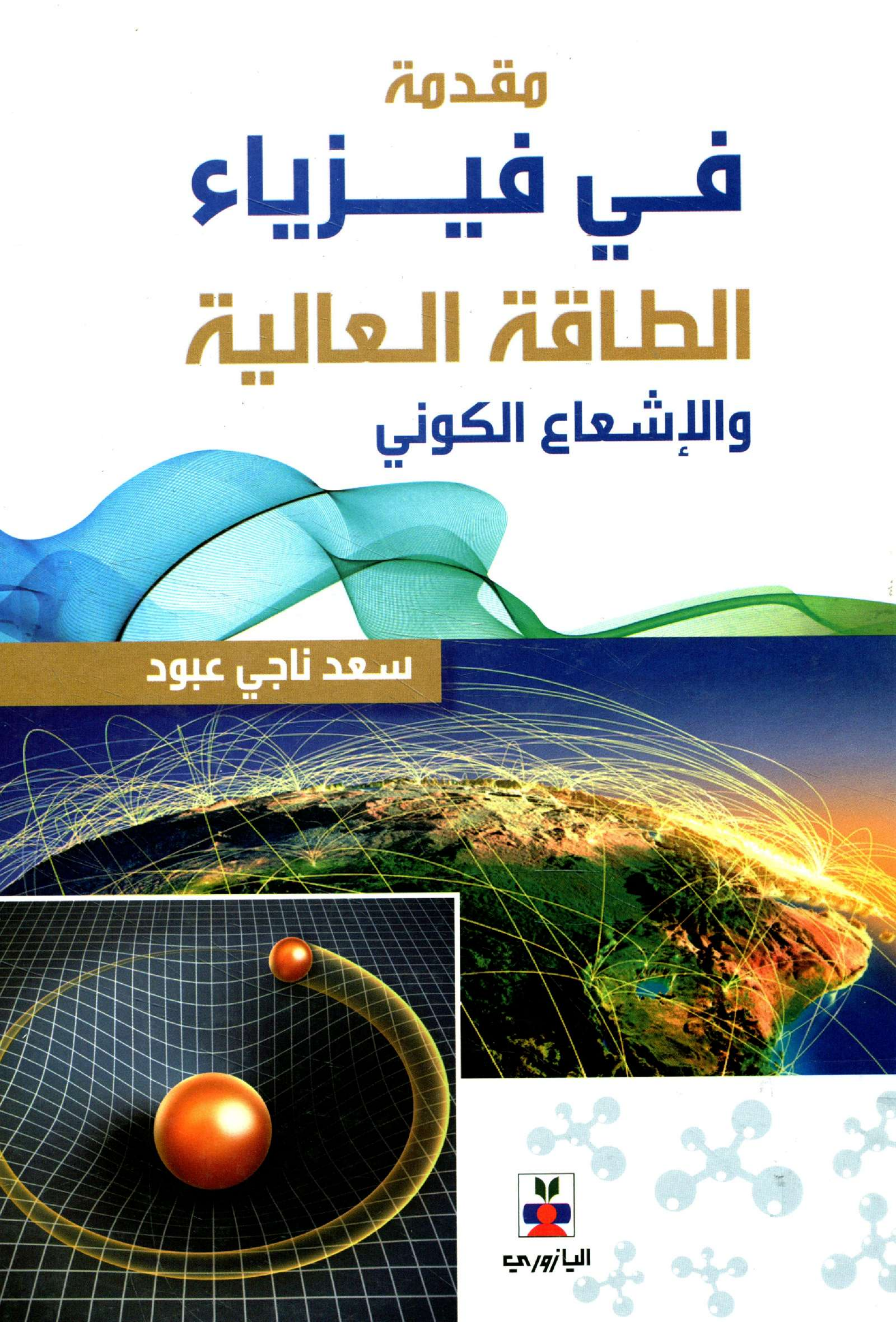

مقدمة
في فيزياء
الطاقة العالية
والإشعاع الكوني
سعد ناجي عبود
اليازوري

مقدمة في فيــزياء الطاقة العالية والإشعاع الكوني

وكلاء وموزعي دار اليازوري في العالم

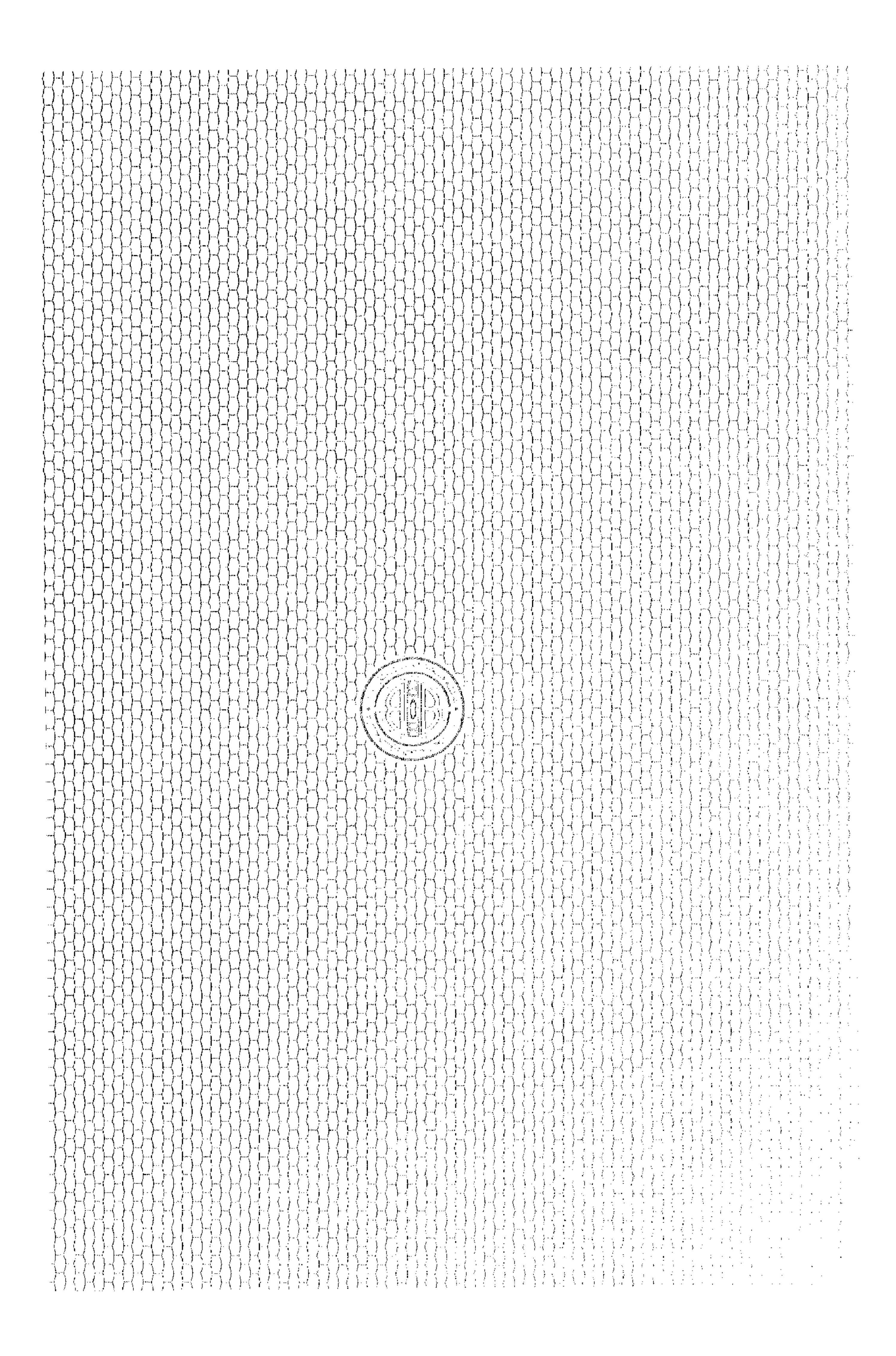
الدولة	المدينة	اسم الدار	الهاتف	الدولة	المدينة	اسم الدار	الهاتف
الأردن	عمان	الإدارة العامة	5690904	الأردن	إربد	حمادة للنشر والتوزع	02 7270100
الأردن	عمان	فرع عمان	5690904	الأردن	الكرك	فرع الدار في الكرك	03 2302111
السعودية	الرياض	مؤسسة الجريسي	4039328	ليبيا	طرابلس	مكتبة طرابلس	213601583
السعودية	الرياض	دار الزهراء	4641144	ليبيا	طرابلس	دار الحكمة	213606571
السعودية	الرياض	مكتبة العبيكان	4650071	ليبيا	طرابلس	الدار العربية للكتاب	3330384
السعودية	الرياض	مكتبة جرير التجارية	4626000	ليبيا	طرابلس	دار الرواد	3350333
السعودية	الرياض	مكتبة الخريجي	4646258	العراق	بغداد	مكتبة دجلة	0096418170792
السعودية	جدة	مكتبة كنوز المعرفة	6570628	العراق	الموصل	دار ابن الأثير	7702036776
السعودية	الدمام	مكتبة المتنبي	8272906	العراق	بغداد	مكتبة الذاكرة	796449420
السعودية	المنورة	مكتبة الزمان	8366666	الكويت	الكويت	مكتبة ذات السلاسل	466255
السعودية	الرياض	مكتبة الرشد	4593451	فلسطين	غزة	مكتبة سمير منصور	97082825688
السعودية	الرياض	دار المريخ	4657939	فلسطين	رام الله	مكتبة الشروق	02-2961614
السعودية	الرياض	مكتبة الشقري	4611717	فلسطين	الخليل	مكتبة دنديس	2225174
السعودية	جدة	تهامة للنشر	65152845	فلسطين	رام الله	دار الرعاة	22961613
السعودية	جدة	مكتبة المأمون	6446614	فلسطين	غزة	مكتبة اليازجي	287099
السعودية	مكة المكرمة	مكتبة الثقافة	5429049	سورية	دمشق	مكتبة النوري	2311189
الجزائر	الجزائر	دار الثقافة العلمية	21541135	سورية	حلب	دار القلم العربي	2113129
الجزائر	وهران	دار ابن النديم	41359788	السودان	الخرطوم	الدار السودانية للكتب	6780031
الجزائر	الجزائر	دار الكتاب الحديث	354105	البحرين	المنامة	المكتبة الوطنية	293840
الجزائر	الجزائر	مؤسسة الضحى	214660	البحرين	المنامة	المكتبة العلمية	7786300
الجزائر	الجزائر	دار ابن باديس	645900	البحرين	المنامة	مؤسسة الايام	725111
الجزائر	وهران	دار العزة والكرامة	41540793	البحرين	المنامة	مكتبة فخراوي	591118
الجزائر	قسنطينة	دار اليمن	961869	فرنسا	باريس	معهد العالم العربي	140513809
الجزائر	قسنطينة	انفودك	770906434	المغرب	أغادير	مكتبة وراقة الجنوب	0528217144
الجزائر	الجزائر	دار البصائر	495735	المغرب	الدار البيضاء	المركز الثقافي العر	
الجزائر	الجزائر	مكتبة الأصالة	243602	سلطنة عمان	روي	مكتبة القرآن الك	
الجزائر	الجزائر	دار الهدى	021966220	المملكة المتحدة	لندن	مكتبة الساقي	
مصر	مدينة نصر	دار الشروق	4023399	أميركا	لوس أنجلس	مكتبة جرير	
مصر	القاهرة	مكتبة مدبولي	5756421	اليمن	صنعاء	الدار العلمية	
مصر	القاهرة	دار الفجر	6246252	اليمن	صنعاء	دار العلوم الحديث	
مصر	القاهرة	الهيئة المصرية العامة	25775371	اليمن	صنعاء	دار الكلمة	
مصر	القاهرة	مجموعة النيل العربية	2026717135	اليمن	صنعاء	دار الكتاب الجامع	
مصر	القاهرة	الشركة العربية المتحدة	22705844				

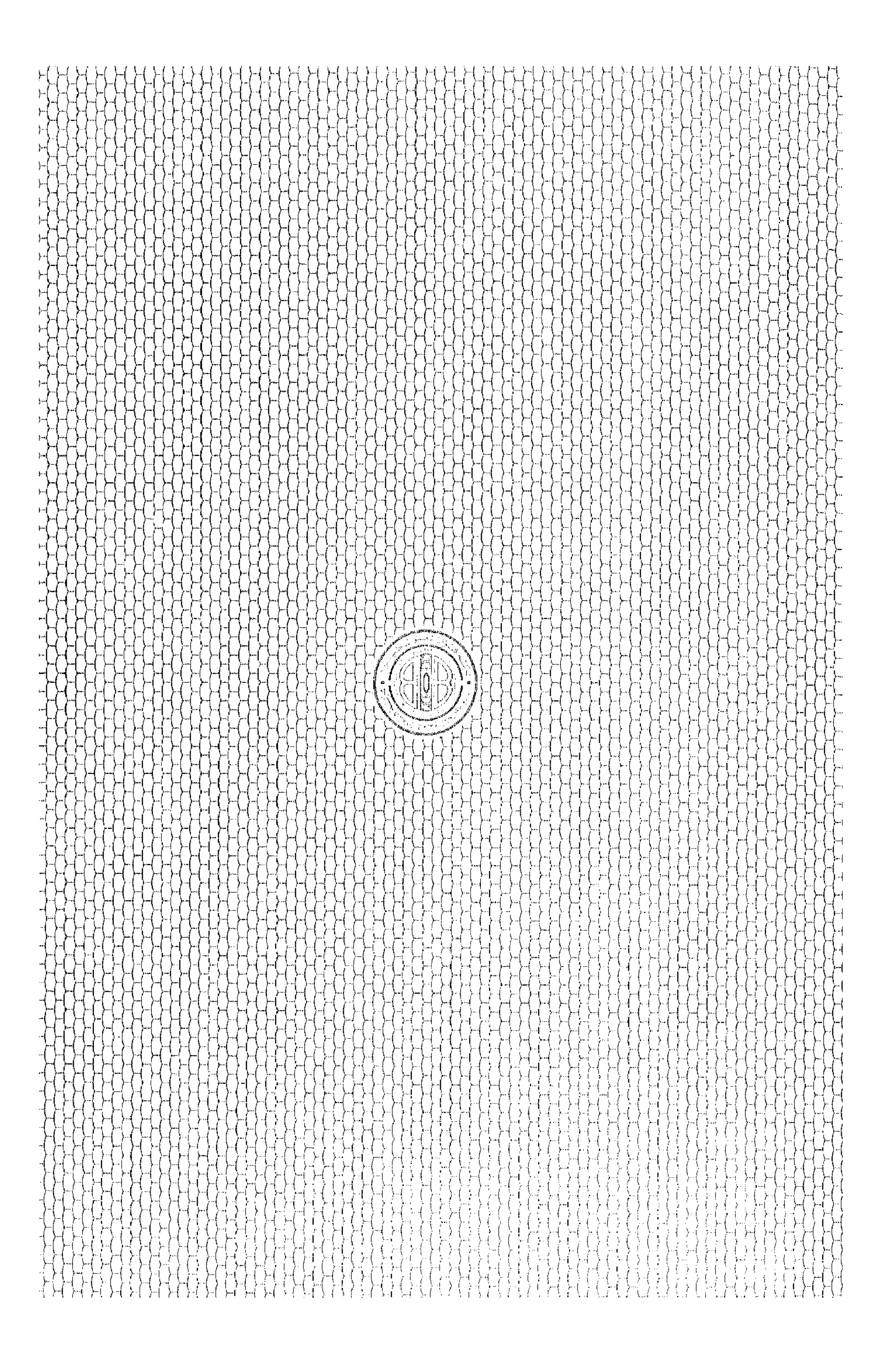


عمان - وسط البلد - شارع الملك حسين
هاتف: 4626626 6 962+ تلفاكس: 4614185 6 962+
ص. ب: 520646 الرمز البريدي: 11152
info@yazori.com www.yazori.com









مقدمة في فيزياء الطاقة العالية والإشعاع الكوني

تأليف

الأستاذ الدكتور

سعد ناجي عبود

قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة النهرين



اليازوري

مقدمة في فيزياء الطاقة العالية والإشعاع الكوني

أ.د. سعد ناجي عبود



الطبعة العربية - 2015

رقم الإيداع 2014/5/2184

التحـــريـــر: هيئة تحرير
تصميم الغلاف: نضال جمهور
الصف والإخراج: سامي أبو سعدة
المطبعة: مطبعة رشاد برس - بيروت



دار اليـــازوري العلمية للنشر والتوزيع

عمان - وسط البلد - شارع الملك حسين
هاتف: 4626626 6 962+ تلفاكس: 4614185 6 962+
ص.ب: 520646 الرمز البريدي: 11152
info@yazori.com www.yazori.com

المقدمة

بسم الله والحمد لله والصلاة والسلام على سيدنا محمد على آله وصحبة أجمعين وبعد...

بالنظر لقلة المصادر العلمية في المكتبة العربية في مجال فيزياء الجسيمات الأولية والإشعاع الكوني، فلقد دأبنا على تأليف هذا الكتاب ليغطي جزءا يسيرا من هذا النقص، وليغطي أيضا جزء من ما يحتاجه الطالب في المرحلة الرابعة في كليات التربية والعلوم في موضوع الجسيمات الأولية والإشعاع الكوني وكذلك طلبة الدراسات العليا . وقد حرصنا عند تأليفه أن يكون قريبا من ذهن الطالب ويتميز بالسلاسة خالي من التعقيدات العلمية والرياضية.

لقد تضمن هذا الكتاب خمسة فصول ، حيث عرضنا وبالتفصيل الجسيمات الأولية وخصائصها والجسيمة المضادة وكذلك أنواع التفاعلات الأربعة. وتطرق الفصل الثاني إلى قوانين الحفظ للجسيمات الأولية وبالتفصيل أما الفصل الثالث فقد أشتمل على شرح وافي ومفصل للكواركات وخصائصها ونظرية الكوارك كذلك التطرق إلى مخططات فاينمن والنظرة للتفاعلات ونظرية TCP وتأثيراتها في التفاعلات. أما الفصل الأخير فتم التطرق إلى الإشعاع الكوني واكتشافه وأصل هذا الإشعاع وتأثير خطوط الطول والعرض على الأشعة الكونية وكذلك تأثير المجال المغناطيسي الأرضي.

وهنا لا ندعي بأننا وفينا مادة فيزياء الطاقة العالية والإشعاع الكوني حقها من كل الجوانب لأن ذلك مستحيل وكذلك لم نصل في هذا الكتاب إلى الكمال، لأن الكمال لله وحده، أننا نرحب وبصدر واسع بأي ملاحظات أو مقترحات بناءة بما يجعل الكتاب في طبقة قادمة بشكل أفضل أن شاء الله. ونتمنى من الله العلي العظيم أن نكون قد وفقنا في هذا العمل المتواضع وما التوفيق إلا بالله.

أ.د. سعد ناجي عبود

الفصل الأول

الجسيمات الأولية Elementary Particles

المقدمة

الجسيم الأولي (elementary particle): من الصعب تحديد معنى الجسيم الأولي، وكما قد تكون محاولة تفسيرها سابقة لأوانها، فعدد الجسيمات في تزايد مستمر، فبعد أن كان عددها بضعة جسيمات في الثلاثينيات تجاوز عددها اليوم المئات وتأكيدا سيتضاعف عددها بزيادة حجم المعجلات وزيادة حجم الأجهزة المعدة لدراسة تفاعلاتها وتوفر الأنواع الحديثة من الكواشف، إضافة إلى طرق تحليل النتائج وخاصة الحاسبات الإلكترونية المتطورة. فبزيادة طاقة التفاعل بين جسيمين (زيادة حجم المعجلات)، يمكن التعرف أكثر على حقيقتها وكذلك يمكن اكتشاف جسيمات جديدة حيث ستحطم كل منها الأخرى نتيجة لتصادمهما.

من المعروف أن ما كان يعتبر أوليا في مرحلة ما لم يعد كذلك اليوم، فمن الجائز أثبات أن ما يعتبر أوليا لن يعد ذلك في المستقبل وعلى هذا الأساس نرى أن أغلب المؤلفين يتجنبون تعريف الجسيمة الأولية، أما الذي يحاول تعريفها فهو أنما يركز من وجهة نظره على مظاهرها المهمة.

فهناك من يعرفها بأنها الشئ الذي ليس له تركيب داخلي، أي أنها ليست مكونة

من وحدات أصغر منها كالإلكترون e^- ، البروتون P ، النيوترون n التـي تعتبـر وحدات بناء كل المواد.

قد يحدث أن يتحلل النيوترون إلى بروتـون وإلكتـرون وضـديد النيوترينيـو $n \to p + \bar{e}(\beta^-) + \bar{\nu}$ ، ولكن هذا لايعني أن النيوترون عبارة عن هيكل مكـون من هـذه الجسيمات أنمـا عـلى العكـس فتفسـير كـل التفـاعلات التـي يكـون النيوترون أحد عناصرها يكـون أفضـل وأصـح أذا اعتبرنـا النيـوترون جسـيمة واحدة (أولية) غير مركبة ونفس الحال يقال عن تحلل البروتون (داخل النـواة) إلى نيوترون وبوزترون ونيوترينيو $P \to n + e^+(\beta^+) + \nu$.

وهنـاك مـن يحـاول أعطـاء تعريـف عـام للجسـيمة الأوليـة فيعتبـر: جميـع الجسيمات الأولية متشابهة باعتبـار أن كـل منهـا هـي حالـة ممكنـة (محتملـة) لتكاثف الطاقة فيها حيث أن كل منها يمكن أن يكون أحد عناصر مجموعـة مـا من بين بضعة مجاميع وهي أنما تختلف من بعضها الـبعض بالخصـائص التـي تحددها أعداد كمية معينة.

وفي هذا الكتاب سنستعرض أولا الظـروف التـي أدت إلى اكتشـاف مختلـف الجسيمات الأولية ومن ثم تصنيفها وإظهار خواصها، ثـم نتعـرف عـلى طبيعـة القوى التي تربط هذه الجسيمات عندما تكون مـع بعضـها إضـافة إلى النمـاذج المجاميع النظرية التي ساعدت في اكتشاف العديد من هذه الجسيمات.

1-1 الجسيمة وضديدها Particle and its antiparticle

الجسيمة وضديدها جسيمتان لهما نفس الكتلة، والزخم البرمي spin، والزخم الأيزوباري isospin، ولكنهما تختلفان عن بعضهما بالشحنة والعزم المغناطيسي والمركبة الثالثة للزخم الأيزوباري وصفات أخرى ستذكر مستقبلا. يرمز لضديد الجسيمة بنفس رمز الجسيمة مع وضع خط عليه أو قد يستعاض عنه بتغيير الشحنة المذكورة على الرمز. فمثلا البروتون p وضديده $\bar{p}$ ، والنيوترون n وضديده $\bar{n}$ والنيوترينيو ν وضديده $\bar{\nu}$، الإلكترون e^- وضديده e^+ والبايون الموجب π^+ وضديده البايون السالب π^- والكايون السالب K^- وضديده الكايون الموجب K^+ والكايون المتعادل K^0 وضديده K^{0-} وهناك جسيمات هي نفسها تمثل أضدادها مثل الفوتون γ وجسيمة الكرافيتون g (غير المكتشف لحد الآن) ، π^0 ، η^0، ω^0. ولقد أفترض وجود أضداد الجسيمات قبل اكتشافها أو مشاهدتها وتنبأ ديراك (Dirac) بوجودها نظريا لأن وجودها ضرورة تقتضيها قوانين النظرية النسبية وقوانين الميكانيك الكم. وأول ضديد يكتشف كان البوزترون e^+ وكان ذلك في عام 1933 من قبل كارل أندرسون عندما كان يحلل الأشعة الكونية في غرفة الغيوم (cloud chamber)، وفي عام 1955 أكتشف ضديد البروتون ثم بعدها أكتشف ضديد النيوترون.

ومن المهم أن نؤكد أن خلق جسيمة ما في تفاعل ما يكون مصحوبا بخلق

ضديدها في آن واحد أو تخلق مع ضديد جسيمة أخرى، وحيث لا يمكن لأحدهما أن يخلق دون الأخر (من التجربة).

تفاعل مرن $p + p \rightarrow p + p$

$$p + p \rightarrow p + p + \pi^{+} + \pi^{-}$$

$$p + p \rightarrow p + p + p + p^{-}$$

من ناحية أخرى عند التقاء جسيمة ما بضديدها فأنهما سيمحوان أحدهما الأخرى:

$$\gamma \rightarrow e^{+} + e^{-}$$

$$e^{+} + e^{-} \rightarrow 2\gamma$$

$$p + p^{-} \rightarrow 4\pi^{+} + 4\pi^{-}$$

$$p + p^{-} \rightarrow 4\pi^{+} + 4\pi^{-} + \pi^{0}$$

أن هاتين الظاهرتين خلق الجسيمة مع ضديدها ومحو احدهما للأخرى قد أدت إلى ظهور بعض القوانين: قانون حفظ أعداد الجسيمات الثقيلة (العدد الكمي الباريوني)، قانون حفظ أعداد الجسيمات الخفيفة (العدد الكمي اللبتوني)، قانون حفظ الغرابة.

1-2 القوى الأربعة-التفاعلات الأربعة Four Forces-Four Interactions

هي القوى التي تسلطها الأجسام بعضها على البعض وتمثل سلوك الأجسام مع بعضها، ويبدوا أن الطبيعة قد أوجدت أربعة أنواع من القوى أو أربعة أنواع من التفاعلات:

1-2-1 القوى التثاقلية Gravitational Force

هي قوى جذب بين الأجسام التي لها كتل، وتعمل على استقامة الخط الواصل بين الكتلتين استنادا إلى قانون الجذب العام لنيوتن :

$$F = G.\frac{m_1 m_2}{r^2} \dots\dots\dots \dots\dots(1-1)$$

حيث أن G هو ثابت الجذب الكوني وقيمته تساوي $G = 6.67*10^{-11}\frac{N.m^2}{Kg^2}$.

وتعزى هذه القوى إلى تبادل جسيمات تسمى الكرافيتونات (gravitons)، بين الكتل المجاذبة ويعتقد أن الكرافيتون، غير المكتشف بعد يتصف بأنه: كتلته السكونية يالسكونيه تساوي صفر تقريبا، يتحرك بسرعة الضوء وزخمه البرمي يساوي $s = 2\hbar$.

القوى التثاقلية هي أضعف القوى، فنسبتها إلى القوى النووية هي 10^{-39} رغم أن مداها أطول المديات، فهي تتحكم بحركة الكواكب والنجوم الساقطة، أما تأثيرها بالنسبة للجسيمات الأولية فيهمل عادة، وذلك لصغر كتل هذه الجسيمات.

1-2-2 القوى الكهرومغناطيسية Electromagnetic Force

هي قوى تجاذب أو تنافر بين الشحنات الكهربائية، أو بين شحنة كهربائية والمجال الذي تولده شحنة أخرى، وذلك بتبادل كمات من الطاقة والزخم الكهرومغناطيسي والتي تسمى الفوتونات (photons). فعند وجود شحنة في مجال كهرومغناطيسي فأنها ستمتص وتشع كمات محددة من الطاقة والزخم

الكهرومغناطيسي ممثلة بطاقة وزخم الفوتون المنبعث وحيث أن كل شحنة تحاط بمجال تولده هي، فعليه فعند اقتراب شحنتين من بعضهما ستكون كل منهما في مجال الأخرى وستزداد طاقة وزخم أحدهما على حساب طاقة وزخم الأخرى وذلك بتبادل الفوتونات فيما بينهما.

نستنتج من هذا أن الفوتونات هي المسؤولة عن القوى أو التفاعلات الكهرومغناطيسية. ويعتبر الفوتون جسيمة ذات: كتلته السكونية تساوي صفر، زخم برمي يساوي $s = 1\hbar$، طاقة $E_\gamma = \hbar\nu$ لها علاقة بتردد الأشعة الممتصة أو المنبعثة، وزخم الفوتون $p_\gamma = \frac{h}{\lambda} = \frac{\hbar\nu}{c}$ وزخم الفوتون له علاقة بطول موجة الأشعة وذلك وفقا لفرضية دي برولي.

أن القوى الكهرومغناطيسية تتحكم بكل العمليات الذرية والكيمياوية فهي بالتالي تتحكم بكل العمليات الحياتية . وتعتمد القوى الكهرومغناطيسية بين شحنتين على سرعتيهما النسبية. أن نسبة القوى الكهرومغناطيسية إلى القوى النووية كنسبة $1/137 \approx 10^{-2}$، أما مداها فغير محدد وزمن التفاعل (فترة تأثيرها) هو بحدود $\approx 10^{-20}$ sec. .

1-2-3 القوى النووية Nuclear Force

هي القوى التي تربط مكونات النواة (البروتونات والنيوترونات) مع بعضها، وهي التي تتحكم بالتفاعلات النووية بين الجسيمات الأولية ذات الطاقة

العالية. وتتصف هذه القوى بما يأتي:

1- مدياتها قصيرة جدا بحدود $10^{-15} m$ ، وان زادت المسافة عن هذا المدى ولو قليلا لأصبحت القوى النووية بينهما مهمله تقريبا.

2- القوى النووية لا تعتمد على الشحنة، فالقوة بين بروتون وبروتون هي نفسها بين نيوترون ونيوترون أو بين نيوترون وبروتون $F_{pp} \approx F_{nn} \approx F_{pn}$.

3- تعتمد على محصلة الزخم الزاوي البرمي للجسيمات، فالقوى بين بروتونين مثلا برميهما بنفس الاتجاه هي غير القوى التي بينهما عندما يكون برميهما متعاكسين.

4- تتصف القوى النووية بتحويلها إلى قوى تنافر بين الجسيمين في حالة اقتراب الجسيمات من بعضهما بمسافات أصغر من حد معين (نصف فيرمي $1/2Fermi$).

وفي عام 1935 أفترض يوكاوا (Yukawa) المعادلة الآتية لتمثل الطاقة الكامنة النووية (Nuclear potential energy):

$$E_P(r) = \pm E_0 r_0 . \exp\left(- r / r_0\right) / r \qquad (1-2)$$

حيث أن r_0 هو المدى، E_0 كمية ثابتة، r المسافة عن مركز النواة.

كما وقد أفترض يوكاوا أن القوى النووية أنما تعزى أن الجسيمات المتفاعلة تتبادل مع بعضها جسيمات أسماها هو بالبايونات (pions) أو $(\pi - mesons)$.

إي أن البايون في التفاعلات النووية يقوم مقام الفوتون في التفاعلات الكهرومغناطيسية، وحيث أن القوى النووية هي قوى ذات مدى قصير فهذا يعني أن البايون يكون ثقيل نسبيا، ويمكن حساب كتلته باستخدام مبدأ اللادقة لهايزنبرك $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ ، حيث إن Δt هو زمن التفاعلات النووية .

تسمى الجسيمات التي تؤثر على بعضها بقوى نووية بـ (الهادرونات Hadrons) وتشمل الجسيمات الثقيلة (الباريونات) مثل البروتون والنيوترون، والجسيمات متوسطة الكتلة (الميزونات) مثل البايونات والكايونات، أما الجسيمات الخفيفة (اللبتونات) كالإلكترون والميون والنيوترينيو فلا يمكن أن تشترك في تفاعلات قوية.

1-2-4 القوى الضعيفة Weak Force

وهي القوى التي تتحكم بتفاعل الجسيمات الخفيفة وبتحلل الجسيمات الأولية، أي أن تحلل أي جسيمة أولية هو تفاعل ضعيف أو ينجز بتأثير قوة ضعيفة. وتمتاز القوى الضعيفة بـ : زمن تأثيرها بحدود 10^{-10} sec. وهو أطول بكثير من زمن تأثير القوى النووية وهو أطول بكثير من زمن تأثير القوى الكهرومغناطيسية، ومداها قصير ونسبتها إلى القوى النووية تساوي 10^{-14}، وهي قوى تبادلية حيث تعزى إلى تبادل جسيمات تسمى (W-particles) والمفروض أن كتلة كل منها بحدود $800 MeV$ إلا أنها لم تكتشف لحد الآن.

1-3 خصائص الجسيمات الأولية Characteristics of Elementary Particles

1-3-1 الكتلة Mass

هي خاصية الجسيم التي تمكنه من جذب الأجسام الأخرى وفقا لقانون الجذب العام لنيوتن (المعادلة (1-1)) كما وتمكنه من مقاومة المؤثرات الخارجية التي تحاول تغيير حالته الحركية.

ومن المعروف أن كتل الجسيمات الأولية صغيرة إذا ما قورنت بكتل الأجسام التي نلمسها في حياتنا اليومية، فمثلا كتلة الإلكترون تساوي $m_e = 9.1\times10^{-39}\,Kg$، أما أذا قورنت هذه الكتل مع بعضها وإذا ما تذكرنا بأن الكتلة تزداد بزيادة سرعتها وفقا لقوانين النظرية النسبية الخاصة وأن سرعتها غالبا ما تقرب من سرعة الضوء، وأن أهمية هذه الخاصية (كتلة الجسيمة الأولية).

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}\quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1-3)$$

حيث أن m كتلة الجسيمة المتحركة، m_0 كتلة الجسيمة في حالة سكونها، υ سرعتها و c سرعة الضوء.

وللجسيمة وضديدها نفس الكتلة، مثلا $m(e^-) = m(e^+)$ ، $m(P) = m(P^-)$ ، $m(n) = m(n^-)$. ونظرا لصغر كتل الجسيمات الأولية، ونظرا للعلاقة الوثيقة بين

الكتلة والطاقة واحتمالية تحول أحدهما للأخرى أي تكافئهما وفقا للنظرية النسبية، يعبر عن هذه الكتل بوحدات طاقة (MeV) $E = mc^2$ (E هي الطاقة الناتجة من تحول الكتلة m إلى طاقة)، والإلكترون- فولت هو مقدار التغير في طاقة الإلكترون عند انتقاله بين نقطتين فرق الجهد بينهما واحد فولت $E_{P.E} = qV$ $(1eV = 1e.1V = eV_{ab} = E_{P.E} = qV_{ab})$ (باعتبار شحنة الإلكترون وحدة قياس الشحنات).

$$1eV = 1.6\times10^{-19}\,C\times1V = 1.6\times10^{-19}\,C.V$$
$$= 1.6\times10^{-19}\,Joul \quad\text{.......... ....}(1-4)$$

وهذا معناه أن $1eV = 1.6\times10^{-19}\,Joul \Rightarrow 1Joul = \dfrac{10^{19}}{1.6} = \dfrac{10^{13}}{1.6}MeV$

$$m_e = 9.1\times10^{-39}\,Kg \Rightarrow m_e = 0.511MeV$$

وخير مثال على تحول الطاقة إلى كتله هو خلق الجسيمات الأولية في التفاعلات النووية ذات الطاقة العالية:

$$K^- + P \rightarrow K^- + P + \pi^- + \pi^+$$
$$p + p \rightarrow p + p + p + p^-$$

بخلق الجسيمات الجديدة كما في المثالين السابقين، كان على حساب الطاقة الحركية المتوفرة للجسيمات المتفاعلة. أما الأمثلة على تحول الكتلة إلى طاقة فنجدها في عملية تحلل الجسيمة الأولية إلى جسيمات أصغار منها مثل:

$$K^0 \rightarrow \pi^- + \pi^+ \qquad (m_K > m_{\pi^-} + m_{\pi^+})$$
$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + P^+ \qquad (m_\Lambda > m_{\pi^-} + m_P)$$

وكذلك عند اضمحلال الجسيمة مع ضديدها

$$p + p^{-} \rightarrow \pi^{+} + \pi^{-} + \pi^{-} + \pi^{-}$$

تكون كتلة الجسيمة المتحللة أكبر دائما من مجموع كتل الجسيمات الناتجة مما يدل على تحول الكتلة إلى طاقة حركية تمتلكها الجسيمات الناتجة.

وتصنف الجسيمات الأولية بالنسبة لكتلتها إلى أربعة مجاميع :

أولا: الجسيمات عديمة الكتلة

وتشمل على الفوتون γ واسطة التفاعلات الكهرومغناطيسية والذي يشترك في هذه التفاعلات فقط دون غيرها والكرافيتون واسطة التفاعلات التثاقلية وهو يشترك بهذه التفاعلات فقط.

ولا يوجد فوتون ساكن $m_{\gamma} = 0$، وسرعة الفوتون $\vartheta_{\gamma} = c = 3 \times 10^{8} m/\sec.$، والفوتون بحالة حركة دائما وبسرعة تساوي c أي أن $m_{\gamma} = \frac{E_{\gamma}}{c^{2}}$ (الكتلة المتحركة للفوتون). وبذلك فأن زخم الفوتون $p_{\gamma} = \frac{E_{\gamma}}{c}$

ثانيا: الجسيمات الخفيفة (اللبتونات) Leptons

وتشمل على الإلكترون والبوزترون والنيوترينيو وضديدها والميون السالب وضديده الميون الموجب، وهذه الجسيمات لا تشترك في تفاعلات قوية بينما تشترك في التفاعلات الثلاثة الأخرى.

ولقد أفترض أن لكل جسيمة خفيفة (لبتونه) عددا كميا يميزها يسمى العـدد الكمي اللبتوني (lepton quantum number) ويرمز له بالرمز ℓ وتكون قيمته:

$$\ell = +1 \quad e^-, \mu^-, \nu^- \text{ for}$$
$$\ell = -1 \quad e^+, \mu^+, \nu \text{ for}$$

و $\ell = 0$ للجسيمات المتوسطة الكتلة والجسيمات الثقيلة الكتلة.

ثالثا: الجسيمات المتوسطة الكتلة (الميزونات) Mesons

وتشمل علـى البايونـات (π^+, π^0, π^-) وأصـل كلمـة بـايون (pion) هـو Pi-meson، والكايونات (K^+, K^0, K^{0-}, K^-) وأصل كلمة كايون (Kaon) هـو K-meson، وليس لها عددا كميا يميزها.

رابعا: الجسيمات الثقيلة (الباريونات) Baryons

وتشمل على البوتون P وضديدة والنيوترون وضديدة (وكل منهمـا يسـمى النيوكليون nucleon أي أحد مكونات النـواة nucleus)، لاميـدا Λ^0 ، سـيكما $\Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0$ ، كسـاي Ξ^-, Ξ^0 ، أوميكـا Ω^- . وأخـف الجسـيمات الثقيلـة هـو البروتون.

ولقد أفترض أن لكل جسيمة ثقيلة عددا كميا يميزهـا يسـمى العـدد الكمـي الباريوني (baryon quantum number) ويرمز له بالرمز B وتكون قيمته :

$$B = 1 \quad \text{لـ} \quad (P ، n ، \Lambda^0 ، \Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0 ، \Xi^-, \Xi^0 ، \Omega^-)$$

$$B = -1 \quad \text{لـ} \quad (P^- ، n^- ، \Lambda^{0-} ، \Sigma^{+-}, \Sigma^{--}, \Sigma^{0-} ، \Xi^{--}, \Xi^{0-})$$

وتكون قيمة B مساوية للصفر للبتونات والميزونات. وتشترك الميزونات والباريونات في كافة أنواع التفاعلات الأربعة ولمونها الوحيدة التي تشترك في التفاعلات القوية تسمى بالهادرونات.

1-3-2 الزخم الزاوي البرمي Spin

فكرة الزخم الزاوي البرمي تعود إلى عام 1926 عندما افترض يولنبنك وكاود سميث في محاولتهما لتفسير التركيب الدقيق لخطوط الأطياف الذرية (fine structure)، بأن الإلكترون يدور حول محوره كملا تفعل الأرض وبذا يمتلك زخما زاويا برميا ($s^{\rightarrow}$) Spin وقد امتدت هذه الفكرة فشملت كل الجسيمات. أن زخم الجسيمة يساوي زخم ضديدها بالمقدار لكنهما يختلفان عن بعضهما باتجاه الدوران حول محوريهما. ويقدر الزخم البرمي بوحدات ($\hbar = \frac{h}{2\pi}$). وتقسم الجسيمات من حيث زخمها إلى قسمين وهما:

أولا: الفيرميونات Fermions

وهي جسيمات زخمها الزاوي البرمي عددا فرديا مضروبا في 1/2 أي أن $S_{\vec{F}} = \frac{1}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar,...$، وتشمل هذه الجسيمات الباريونات واللبتونات مثلا: $S_e = S_P = S_n = 1/2\hbar$ ، $S_{\Omega^-} = 3/2\hbar$ ، $S_{N^*} = 5/2\hbar$، والفيرميونات تخضع لمبدأ الأستثناء لباولي (Pauli exclusion principle) والذي ينص على أنه لا يمكن لفيرميونين (إلكترونين، بروتونين) أن يتواجدا بنفس الحالة الكمية وتكون لهما

نفس أعداد الكم الأربعة (n,l,m_l,s). كما وإنها تخضع لقانون التوزيع لفيرمي- ديراك (Fermi-Dirac distribution law) ولهذا سميت بالفيرميونات.

ثانيا: البوزونات Bosons

هي جسيمات زخمها الزاوي البرمي يساوي عدد صحيح $S_B = 0\hbar, 1\hbar, 2\hbar, 3\hbar, ...$ من هذه الجسيمات الفوتون $S_\gamma = 1\hbar$، والبايونات $S_\pi = 0\hbar$ و الكايونات $S_K = 0\hbar$ والكرافيتون $S_g = 2\hbar$ والبوزونات لا تخضع لمبدأ الأستثناء لباولي ولهذا يمكن وجود أي عدد منها في نفس الحالة الكمية، كما في حالة وجود عدد غير محدد من البايونات محيطة بالبروتون أو النيوترون مثلا. وهي تخضع لقانون التوزيع لبوز- أينشتين (Bose-Einstein distribution law) ولهذا سميت بالبوزونات، ويبدوا أن الجسيمة بسبب زخمها الزاوي البرمي تمتلك عزما مغناطيسيا، فعندما توضع في مجال مغناطيسي فأن زخمها سيتجه باتجاهات معينة وعددها (عدد الأوضاع التي تتخذها الجسيمة في المجال المغناطيسي هو $2s+1$). ففي حالة الإلكترون الذي زخمه $s = \frac{1}{2}\hbar$ هناك اتجاهان أو وضعان يمكن أن يأخذها الإلكترون بالنسبة للمجال المغناطيسي هما الأول: وفيه يكون اتجاه الزخم بنفس اتجاه المجال والثاني : وفيه اتجاه الزخم معاكس لاتجاه المجال. ويشار لهاتين الحالتين بمركبة الزخم الزاوي البرمي على اتجاه المجال بالرمز m_s (العدد الكمي المغناطيسي البرمي

(spin magnetic quantum number). وقيم m_s للإلكترون هما $m_s = 1/2\hbar$ و $m_s = -1/2\hbar$ (عدد قيم m_s هو $m_s = 2s+1$).

1-3-3 التناظر Parity

وهي تعني أو تشير إلى سلوك دالة الموجة الممثلة لحالة الجسيمة عند تغير أشارة الإحداثيات. وهي على نوعين: زوجية (even) (موجبة positive) أو فردية (odd) (سالبة negative)، ورياضيا يشار إليها بـ :

$$P_{op}\Psi(+x,+y,+z) = P\Psi(-x,-y,-z)$$
$$P_{op}\Psi(+x,+y,+z) = +\Psi(+x,+y,+z)$$

أي أن التناظر زوجي $P = +1$. أما أذا كان:

$$P_{op}\Psi(+x,+y,+z) = P\Psi(-x,-y,-z)$$
$$P_{op}\Psi(+x,+y,+z) = -\Psi(+x,+y,+z)$$

فأن التناظر فردي $P = -1$

لقد أفترض أن كل جسيمة يمكن أن توصف بدالة موجة، فعليه فأن كل جسيمة تتفاعل بقوة بارتي معينة، زوجية أو فردية. كما واعتبرت بارتي البروتون والنيوترون زوجية أما البايونات فلها بارتي فردية وهنا نشير إلى أن البارتي للبوزونات وأضدادها تكون واحدة وفردية. البارتي للفيرميونات فتكزن معاكسة لبارتي أضدادها.

$P_n = -P_{n^-}$ $P_p = -P_{p^-}$ للفيرميونات

$P_{K^-} = -P_{K^+}$ $P_{\pi^+} = -P_{\pi^-}$ للبوزونات

وبعبارة أخرى أن دالة الموجة للفيرميونات تكون غير متناظرة (antisymmetric)، بينما دالة الموجة للبوزونات فتكون متناظرة (symmetric).

ومن الجدير بالذكر أن البارتي لجسيم مكون من عدة جسيمات تساوي حاصل ضرب البارتي لمكوناته والبارتي المدارية لها، والأخيرة بسبب دوران المكونات حول بعضها وامتلاكها زخما زاويا مداريا (L)، فعليه فأن البارتي للجسيم $P_d = P_1.P_2.P_3....$، حيث أن $P_1, P_2, P_3,....$ تمثل بارتي الجسيمات 1,2,3,...، على فرض أن الجسيم مكون من n من الجسيمات. فمثلا بارتي الديترون ($d=P+n$) تكون موجبة وذلك لأن البارتي للبروتون والبارتي للنيوترون تكون موجبة $L_d = 0$ أي أن $P_d = 1 \times 1 \times (-1)^0 = 1$.

1-3-4 الشحنة Charge

معظم الجسيمات الأولية ذات شحنة كهربائية وقسم قليل منها يكون متعادل. وشحنة الجسيمة أما أن تكون سالبة كشحنة الإلكترون أو موجبة كشحنة البروتون (من المعروف أن شحنة الإلكترون تساوي شحنة البروتون بالمقدار ولكنهما مختلفتان نوعا) أو موجبة وتساوي ضعف شحنة البروتون أو

صفرا في حالة الجسيمات العديمة الشحنة. ولم تكتشف لحد الآن جسيمة سالبة لها شحنة تساوي ضعف شحنة الإلكترون كما ولم تكتشف لحد الآن جسيمة موجبة لها شحنة تساوي ثلاثة أضعاف أو أكثر شحنة البروتون.

يشار لشحنة الجسيمة بعلامة (+,++,-,0) فوق الرمز الذي يمثل الجسيمة زمن جهة اليمين. وإذا افترضنا أن مقدار شحنة الإلكترون يساوي e يمكن تلخيص ما ذكر أعلاه بالشكل الأتي:

q = - e	e.g,	e^-	π^-	K^-	μ^-	P^-
q = + e	e.g,	e^+	π^+	K^+	μ^+	P
q = +2e	e.g,	Δ^{++}	Δ^{*++}	+ other products		
q = 0	e.g,	K^0	K^0			

تكون شحنة الجسيمة معاكسة لشحنة ضديدها، أما الجسيمة عديمة الشحنة فهي نفس ضديدها رمزا وقد يختلفان في صفات أخرى، فيشار لضديد الجسيمة بخط فوق الرمز.

1-3-5 الزخم الأيزوباري Isospin (Isobaric spin)

أن أساس فكرة الزخم الايزوباري هو الحقائق الآتية:

1- القوى النووية بين بروتون- بروتون أو نيوترون - نيوترون أو بين بروتون - نيوترون واحدة تقريبا لا يعتمد على الشكل كما يدل ذلك استقرار النواة .

2- أن النوى المتعاكسة (النوى المرآتية) mirror nuclei للعناصر

الخفيفة: $({}^{13}_{6}C_7 - {}^{13}_{7}N_6, {}^{9}_{4}Be_5 - {}^{9}_{5}B_4, {}^{7}_{3}Li_4 - {}^{7}_{4}Be_3, {}^{3}_{1}H_2 - {}^{3}_{2}He_1)$، التي تتساوى أعدادها الكتلية بينما أعداد البروتونات متبادلة، فنلاحظ أن طاقات ربط النوى وحالاتها المتهيجة تكون متساوية تقريبا لكل زوج من النوى المذكورة في أعلاه والاختلافات الطفيفة فيما بينها تعزى للتأثيرات الكهرومغناطيسية للشحنات الكهربائية.

3- لوحظ أن معظم الجسيمات التي تتفاعل من خلال القوى النووية (الهادرونات) لها شحنات مختلفة كما وأنها تمتلك نفس السلوك بقدر تعلق الأمر بالتفاعلات النووية، أي إنها تتفاعل مع بعضها بغض النظر عن شحنتها. ويمكن توزيعها على شكل مجاميع صغيرة (P,n)، (π^+,π^0,π^-)، من ناحية أخرى أن التأثيرات الكهرومغناطيسية هي التي تسبب اختلافها بالكتلة والعزم المغناطيسي ومعدل حياتها.

إن عدم اعتماد القوى النووية على الشحنة كما وضح أعلاه قد دفع هايزنبيرك لأن يفترض فكرة الزخم الأيزوباري T . فعناصر مجموعة معينة من الهادرونات لها نفس الزخم الايزوباري T واختلافها يكون في المركبة الثالثة للزخم الايزوباري T_3 . فمثلا مجموعة النيوكليونات $T_p = 1/2$، $T_n = 1/2$ بينما المركبة الثالثة $T_3 = 1/2$ للبروتون و $T_3 = -1/2$ للنيوترون، وكذلك الحال بالنسبة لمجموعة البايونات (π^+,π^0,π^-) فأن $T_{\pi^+} = 1$ للبايون الموجب،

$T_{\pi^-} = 1$ للبايون السالب و $T_{\pi^0} = 1$ للبايون عديم الشحنة، أما المركبة الثالثة فتكون للبايون الموجب $T_3 = 1$ وللبايون السالب $T_3 = -1$ وللبايون عديم الشحنة $T_3 = 0$.

إن التسمية الزخم الايزوباري لا تدل على مسمى، فامتلاك الجسيمة للزخم الايزوباري لايعنى إنها تدور حول محور ما، فكلمة isobaric استعملت لتدل على نفس العدد الكتلي وأن أبدال بروتون بنيوترون أو بالعكس في نواة ما فسوف لن يبدل العدد الكتلي للنواة والنواتان ستمثلان زوجا من الايزوبار. أما كلمة spin فقد استعملت نظرا للتشابه بين عدد الأوضاع التي تتخذها الجسيمة في مجال مغناطيسي وعلاقتها بزخم الجسيمة s فعدد الأوضاع هو 2s+1 وعدد حالات الشحنة في مجموعة الزخم الايزوباري وعلاقتها بالزخم الايزوباري، عدد حالات الشحنة (الجسيمات في المجموعة اللايزوبارية) هو 2T+1 ، فمثلا $T = 1$ للبايونات لهذا فالبايونات تشكل مجموعة ايزوبارية ثلاثية $(2T+1 = 2\times1+1 = 3)$ أي هنالك ثلاثة حالات للشحنة. أما النيوكليونات فتشكل مجموعة ايزوبارية ثنائية لأن لها $T = 1/2$ $(2T+1 = 2\times1/2+1 = 2)$ أي هنالك حالتين للشحنة.

وبعد أن بينا أن الزخم الايزوباري أنما هو كمية تمثل عدد عناصر المجموعة الايزوبارية التي تمتلك نفس السلوك بقدر تعلق الأمر بالتفاعلات النووية، أي

يمكن اعتبار ها حالات مختلفة لـنفس الجسـيمة. نضـيف الآن: فأنـه يفتـرض للزخم الايزوباري مركبة واحدة تسمى المركبة الثالثة للـزخم الايزوبـاري T_3 والتي لها علاقة بشحنة العنصر في المجموعة الايزوباريـة: فـأعلى قيمـة موجبـة لهذه المركبة تكون للعنصـر ذي الشـحنة الموجبـة الأكبـر فمـثلا في مجموعـة البايونات $T=1$ و $T_3=1$ للبايون الموجب، و $T_3=0$ للبـايون عـديم الشـحنة و $T_3=-1$ للبايون السالب.

أن للجسيمة وضديدها نفس الزخم الايزوبـاري بينمـا المركبـة الثالثـة فلهـا نفس المقدار، ولمن بعكس الإشارة نتيجة لتعاكسهما بالشحنة.

1-3-6 الغرابة Strangeness

تسمى بعض الجسيمات جسيمات غريبة وأصل التسمية هو:

1- في عام 1947 شوهد في غرفة الغيوم (cloud chamber) مساران غريبان من نقطة واحدة لجسميتين ليستا نتاجا لتفاعل جسيمة مـا مـع أحـدى جزيئـات الغاز. فلم يكن مظهر هذه التفاعلات أو المسارات، معتادا أنمـا كـان ظهورهـا غريبا وسميت في البداية (V-particles).

2- دلت الدراسات الدقيقة فيما بعد على أن هنالك نوعـان مـن الجسـيمات الغريبـة وهـي الهايبرونـات (Hyprons) (الجسـيمات الثقيلـة الغريبـة) مثـل جسيمات Σ, Ξ, Ω، والكايونات (Kaons) أي الميزونات الغريبـة (الجسـيمات

المتوسطة الكتلة الغريبة) مثل K^-, K^0, K^+.

3 - لا يمكن أن تنتج جسيمة غريبة مع جسيمة غريبة لوحدها، فلقد لوحظ أن أنتاج الهايبرونات يكون مرافقا لإنتاج الكايونات (associated production) وبصورة عامة تنتج الجسيمات الغريبة مع جسيمات غريبة أخرى ولكن بغرابة معاكسة وإنتاجها بهذه الصورة يكون في التفاعلات النووية أما تحللها فيكون انفراديا وخاضعا للتفاعل الضعيف رغم عدم ما يمنع تحللهما من خلال التفاعل القوي بقدر تعلق الأمر بقانون حفظ الطاقة والزخم وبذا يتضح أن الجسيمات الغريبة تعيش قبل تحللها أطول من غيرها، كالجسيمات الرنينية (Resonance Particles) وقد تكون هذه الخاصية هي السبب الأهم في تسميتها بالجسيمات الغريبة.

$$\pi^- + P \to \Lambda^0 + K^0$$

$$\Lambda^0 \to \pi^- + p$$

$$K^0 \to \pi^- + \pi^+$$

لقد مثل هذا السلوك لهذه الجسيمات بعدد كمي سمي بالعدد الكمي للغرابة (strangeness quantum number) ويرمز له بالرمز S واعتبرت غرابة الهايبرونات سالبة بينما غرابة الكايونات موجبة وأن غرابة الجسيمة معاكسة لغرابة ضديدها.

$S = +1$ لـ $\Sigma^0, \Sigma^-, \Sigma^+$

$\Sigma^{0^-}, \Sigma^{-^-}, \Sigma^{+^-}$ لـ $S = -1$

Ξ^{0}, Ξ^{-} لـ $S = -2$

Ξ^{0^-}, Ξ^{-^-} لـ $S = +2$

الغرابة S=+1 للكايون الموجب ($S=+1$ for K^+) والغرابة S=-1 للكايون السالب ($S= -1$ for K^-).

لقد وجد أن لهذا العدد (العدد الكمي للغرابة S) علاقة لشحنة الجسيمة Q ، وبالمركبة الثالثة للزخم الايزوباري T_3 والعدد الكمي الباريوني B، وفقا للعلاقة الآتية:

$$Q = T_3 + \frac{B+S}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-4)$$

تسمى هذه المعادلة بمعادلة كلمان- نيشيجيما (Gell-mann and Nishijima) ويعبر عن

$$B + S = Y \ldots\ldots\ldots \ldots\ldots\ldots (1-5)$$

حيث أن Y تدعى بـ hypercharge (الشحنة الفوقية)، وبذلك تصبح المعادلة (1-4) بالشكل الأتي:

$$Q = T_3 + \frac{Y}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-6)$$

فمثلا للبروتون نطبق المعادلة (1-4) نجد أن :

$$+1 = T_3 + \frac{1+0}{2} \Rightarrow T_3 = \frac{1}{2}$$

وبتطبيق المعادلة (4-1) للنيوترون نجد أن:

$$0 = T_3 + \frac{1+0}{2} \Rightarrow T_3 = -\frac{1}{2}$$

وكان لفكرة الغرابة الفضل في عدم اعتبار الكايونات كمجموعة أيزوبارية ثلاثية ، أنما تشكل مجموعتين أيزوباريتين منفصلتين وهما (K^+, K^0) و(K^{0^-}, K^-)، فغرابة الكايون الموجب هي 1+ وعدده الباريوني يساوي صفر، لذلك باستخدام معادلة كلمان- نيشيجيما نحصل على:

$$+1 = T_3 + \frac{0+1}{2} \Rightarrow T_3 = \frac{1}{2}$$

نلاحظ أن $T_3 = \frac{1}{2}$ للميون الموجب مما يدل على أنه أحد عنصري مجموعة ايزوبارية ثنائية (K^+, K^0) وليست ثلاثية لذلك كان هذا الاستنتاج محفزا لاكتشاف ضديد K^{0^-} ليكون مع K^- مجموعة ايزوبارية ثنائية أخرى:

$$-1 = T_3 + \frac{0-1}{2} \Rightarrow T_3 = -\frac{1}{2}$$

وبذلك نجد أن $T_3 = -\frac{1}{2}$ للكايون السالب. وكتطبيق أخر لمعادلة كلمان- نيشيجيما أستنتج بأن جسيمة Ξ^0 أحد عنصري مجموعة ايزوبارية ثنائية (Ξ^0, Ξ^-) وليست مجموعة ايزوبارية ثلاثية (Ξ^0, Ξ^-, Ξ^+)، وهذا الاستنتاج قد تم بالماضي ويدعم حاضرا ومستقبلا بعدم اكتشاف جسيمة Ξ^+ في التفاعلات النووية.

$$0 = T_3 + \frac{1-2}{2} \Rightarrow T_3 = \frac{1}{2}$$

أي أن $T_3 = \frac{1}{2}$ لجسيمة Ξ^0 وهي أحد عنصري مجموعة ايزوبارية ثنائية.

1-3-7 عمر الجسيمة Life of Particle

للجسيمة وضديدها نفس العمر باستثناء الفوتون والنيوترينيو والإلكترون والبروتون. فأن جميع الجسيمات تتحلل إلى جسيمات أقل كتلة من خلال التفاعل الضعيف وقد تتحلل الجسيمة بأكثر من طريقة واحدة وتسمى الطرق المختلفة لتحلل الجسيمة بأطوار التحلل (decay modes) مثل :

$$\Lambda^0 \to \pi^- + p$$

$$\Lambda^0 \to \pi^0 + n$$

$$\Lambda^0 \to p + e^- + \nu_e^-$$

$$\Lambda^0 \to p + \mu^- + \nu_\mu^-$$

عادة تعطى أنصاف أعمار الجسيمات الساكنة في نظام إحداثياتها (particle frame) حيث لو كانت الجسيمة المتحركة بسرعة v وقريبة من سرعة الضوء c بالنسبة للمشاهد لظهر له أن عمر النصف للجسيمة أطول مما هو عليه في حالة سكونها وذلك بتأثير النسبية وفقا للمعادلة الآتية:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{.........} \quad \text{.........}(1-5)$$

حيث t_0 عمر النصف للجسيمة في نظام إحداثياتها، t عمر الجسيمة للجسيمة في نظام الإحداثيات للمشاهد .

1-3-8 وجود ضديد للجسيمة

الخاصية الأخيرة للجسيمات الأولية هي وجود ضديد لكل جسيمة، كل جسيمة لها ضديد مثلا : (e^{+},e^{-}) ، (P,P^{-})،...

1-4 الجسيمة الرنينية Resonance Particle

أن معظم الجسيمات الأولية التي استعرضناها في الفقرات السابقة من هذا الفصل ذات معدل عمر قصير بحدود 10^{-10}sec تقريبا. وقد أتضح بان هذا الوقت كافي ليمكن الجسيمات من الانتقال لمسافات أطول في أي كاشف وبذلك تصبح مساراتها مرئية. في بداية الستينيات من القرن الماضي، تم اكتشاف نوع أخر من الجسيمات لها خاصية مشتركة وهي أن معدل عمرها قصير جدا ويبلغ تقريبا 10^{-23}sec وبذلك لا تترك أثرا أو مسارا مرئيا على الإطلاق، وأن الطريقة الوحيدة للتعرف عليها هو نتائج الانحلال التي تخلفها.

هذه الجسيمات سميت بالجسيمات الرنينية (Resonance Particles) أو حالات الرنين. لقد تم اكتشاف أول جسيمة رنينية N^{*} من قبل فيرمي E. Fermi عام 1952، لكنها لم تعرف بصورة أكيدة إلا في عام 1960، حيث قام ألفيرز ومجموعته (Alvare *et al.,*) وفي مختبر لورنس للإشعاع باستخدام جسيمات الكايون *K* ذي طاقة عالية تسقط على هدف من الهيدروجين السائل (البروتونات) في غرفة الفقاعة حيث حصل التفاعل الأتي:

$$K^{-} + P \rightarrow \Lambda^0 + \pi^+ + \pi^-$$

تم تحليل المسارات المرئية للبايونات الموجبة والسالبة بواسطة الحاسبة الالكترونية لمعرفة طاقة وزخم كل منهم. في بادئ الأمر كان التصور قائما على أساس أن بايونا واحدا يقذف من التفاعل وليس اثنان. وأن البايون الأخر وجسيمة لمدا لم ينفصلا مباشرة، حيث يبقيان مع بعض لوقت كاف ومن ثم ينفصلان لقد أطلقوا على هذه المجموعة $(\Lambda^0 + \pi^\pm)$ أسم $Y^{*\pm}$، حالة الرنين (Resonance state)

$$K^{-} + P \rightarrow Y^{*\pm} + \pi^\pm$$

أن الكشف عن جسيمة الرنين Y^* دفع الباحثين إلى اكتشاف عدد أخر من الجسيمات الرنينية.

جسيمة الرنين N^* وجدت أنها متكونة من مجموعة (البايون و النيوكليون) حيث تبلغ كتلتها 1237 MeV وعمرها أقصر قليلا من Y^*. وبالمثل أن اكتشاف جسيمات ρ و Ω ساعد في تفسير الهيكل الداخلي للنيوكليونات. الجدول (1-1) يبين الجسيمات الرنينية وخواصها.

جدول (1-1) جسيمات الرنين

الجسيمة	الكتلة MeV/c^2	عدد النظائر	العدد الباريوني	الغرابة	T_3
K^+	494	زوجي	0	+1	1/2
K^0	494	زوجي	0	+1	-1/2
K^-	جسيمة مضادة لـ K^+				
K^{0^-}	جسيمة مضادة لـ K^0				
Λ^0	1115	مفرد	+1	-1	0
Σ^+	1189	ثلاثي	+1	-1	+1
Σ^0	1193	ثلاثي	+1	-1	0
Σ^-	1197	ثلاثي	-1	-1	
Ξ^-	1320	زوجي	+1	-2	-1/2
Ξ^0	1311	زوجي	+1	-2	+1/2
Ω^-	1680	مفرد	+1	-3	0

الفصل الثاني

قوانين الحفظ Conservation Laws

هي مجموعة قوانين أساسية للطبيعة، صاغها بعض العلماء بشكلها الحالي لتفسير سبب حدوث بعض التفاعلات وعدم حدوث البعض الأخر، فمعظم هذه القوانين هي حصيلة التجربة والملاحظة.

فملاحظة عدم حدوث تفاعل معين أدى إلى صياغة قانون معين، وطبق هذا القانون بنجاح على تفاعلات أخرى حاصلة وأخيرا يستخدم للتنبأ بعدم حدوث التفاعل كذا.

وقانون حفظ كمية ما، الطاقة مثلا، يعني أن مقدار الكمية قبل التفاعل يساوي مقدارها بعد التفاعل، أو يقال أن الكمية تحفظ في التفاعل كذا. وفيما يأتي وصفا مفصلا لقوانين الحفظ التي وضحت في الفصل السابق.

2-1 قانون حفظ الطاقة- الكتلة Mass - Energy Conservation Law

من قديم الزمان لوحظ أن الطاقة الحركية والكامنة لجسيم معزول تكون مترابطة ومجموعهما مقدار ثابت. ومن تفاعل الجسيمات الأولية أستنتج بأنه هناك تكافؤ بين الطاقة والكتلة واحتمال تحول أحداهما للأخرى، كما موضح في البند (1-3-1):

$$K^- + P \to K^- + \pi^- + \pi^+ \qquad E \to m$$

$$\Lambda^0 \to \pi^- + P^- \qquad m \to E$$

$$n^0 \to P + \beta^- + \nu^- \qquad m \to E$$

ولكن أنه يبدوا أن هناك حدا أدنى للمادة الموجودة بصورة مستقرة في الطبيعة والتي يتعذر أتلافها والحصول على طاقة منها بينما البروتون جسيمة مستقرة باعتباره أصغر الجسيمات الثقيلة لذا يمكن أن يتحلل إلى جسيمة ثقيلة أخف منه، كما وأن أنتاج الجسيمات الثقيلة وأضدادها معا في التفاعلات النووية وتحلل الجسيمات الثقيلة بخطوة واحدة أو بعدة خطوات إلى بروتون وجسيمات أخرى صغيرة جدا أدى إلى صياغة قانون حفظ الجسيمات الثقيلة (العدد الباريوني *B*-Baryon number) الكلي قبل التفاعل يجب أن يساوي العدد الكلي الباريوني بعد التفاعل، مثلا:

$$p + p \rightarrow p + p + p + p^{-}$$

العدد الباريوني B $+1+1=+1+1+1-1=2$

وهنا نجد أن العدد الباريوني محفوظ في هذا التفاعل. بينما في التفاعل الأتي:

$$p + p \neq p + p + p + \pi^{-}$$

العدد الباريوني *B* $+1+1 \neq +1+1+1+0$

$$2 \neq 3$$

العدد الكمي الباريوني غير محفوظ في هذا التفاعل، وبذلك فأن هذا التفاعل لايشاهد.

وبالمثل الإلكترون جسيمة مستقرة باعتباره اخف الجسيمات المشحونة

فليس هناك جسيمة خفيفة مشحونة يمكن أن يتحلل لها الإلكترون، ومن ملاحظة حدوث وعدم حدوث بعض التفاعلات تمت صياغة قانون حفظ عدد الجسيمات الخفيفة (العدد الكمي اللبتوني l-Lepton quantum number) أي أن العدد اللبتوني في تفاعل ما يبقى ثابتا:

$$n^0 \rightarrow P + \beta^- + \nu^-$$

l العدد اللبتوني 0 = 0+1-1=0

وكذلك التفاعل الأتي:

$$P \rightarrow n + \beta^+ + \nu$$

l العدد اللبتوني 0 = 0-1+1=0

وبذلك نجد أن العدد اللبتوني يحفظ في كلا التفاعليين أعلاه.

إن احد الأسباب لافتراض انبعاث النيوترينيو أو ضديدها في تحلل بيتا هو لحفظ العدد اللبتوني إضافة لحفظ الزخم والطاقة والزخم الزاوي.

ولنفس السبب (قانون حفظ العدد اللبتوني) يتحلل الميون السالب μ^- إلى إلكترون وزوج من النيوترينيو أحداهما ضديد النيوترينيو لكي يحفظ العدد اللبتوني:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \nu^-$$

l العدد اللبتوني +1 = +1+1-1=+1

ويبدوا أن هنالك نوعين من النيوترينيو: تلك التي تصاحب الميون وتسمى

ν_μ وتلك التي تصاحب الإلكترون وتسمى ν_e. فالبايون السالب يتحلل إلى:

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu^-$$

العدد اللبتوني l $\qquad 0 = +1\text{-}1 = 0$

$$P + \nu_\mu^- \rightarrow n + \mu^+$$

في التفاعلين الأخيرين العدد اللبتوني محفوظ وبذلك فأن التفاعلان يشاهدان. بينما التفاعل الأتي لا يشاهد وذلك لعدم حفظ العدد اللبتوني:

$$P + \nu_\mu^- \neq n + e^+$$

فبعد إمرار 10^{14} من ν_μ^- في غرفة الشرارة (spark chamber) شوهدت 50 حالة من التفاعل الأول بينما لم يشاهد التفاعل الثاني قطعا رغم عدم وجود ما يمنع حدوثه بقدر تعلق الأمر بالطاقة والزخم الخطي والزاوي فلو كان هنالك نوع واحد من النيوترينيو لوجب حدوث التفاعلين أما حدوث التفاعل الأول دون الثاني فيفسر بوجود نوعين من النيوترينيو (ν_e، ν_μ). فعليه يمكن تلخيص ما ذكر أعلاه بالمعادلات الآتية مع تشخيص نوع النيوترينيو:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$
$$0 = -1+1=0$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu^-$$
$$0 = +1\text{-}1=0$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \nu_\mu^-$$
$$-1 = -1+1-1=-1$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \nu_\mu^-$$
$$+1 = +1-1+1=+1$$

2-2 قانون حفظ الزخم الخطي Linear Momentum Conservation Law

تدل التجارب على أن الزخم الخطي $P = m\vartheta$ يكون محفوظا أي أن الزخم الخطي قبل التفاعل يساوي الزخم الخطي بعد التفاعل في كافة أنواع التفاعلات الأربعة. ويستخدم الزخم بدلا من السرعة والكتلة وذلك لاحتمال تغير كلا من هاتين الكميتين بالسرعة وفقا لقوانين النظرية النسبية الخاصة:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} \quad \text{.................} (2-1)$$

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}} \quad \text{.................} (2-2)$$

فالقانون العام للزخم نسبيا أو غير نسبي هو:

$$P = m\vartheta = \sqrt{\frac{E^2 - m_0^2 c^4}{c^2}} \quad \text{.................} (2-3)$$

من هذا القانون يتضح أنه حتى لو كانت الكتلة السكونية لجسيمة ما تساوي صفر (مساوية للصفر مثل الفوتون أو النيوترينيو) فأن لها زخما وكتلة متحركة:

$$P = \frac{E}{c} \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} \quad \text{.................} (2-4)$$

أي أن $\vartheta = c$، أي أن مثل هذه الجسيمات (التي كتلتها السكونية صفر) تتحرك بسرعة الضوء. ذكرنا سابقا من احتمال محو الإلكترون والبوزترون أحدهما للآخر وانبعاث فوتونين:

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$$

اضمحلال ممكن لأن $P_i = P_f = 0$.

ولكن $e^- + e^+ \neq \gamma$ لأن $P_i = 0 \neq P_f = P_\gamma$.

إن أحد الأسباب الذي يمنع اضمحلال الإلكترون والبوزترون وإعطاء فوتون واحد بدلا من فوتونين هو قانون حفظ الزخم الخطي. فقد يحدث أن يكون زخميهما الخطي صفرا عند التقائهما بينما زخم الفوتون الناتج أكبر من الصفر وهذا يعني خرق قانون حفظ الزخم الخطي وحيث أن هذا غير ممكن لذا فالتفاعل $e^- + e^+ \neq \gamma$ لا يمكن أن يحدث لكنه يمكن أن يتحول الفوتون إلى إلكترون وبوزترون عند مروره بالقرب من النواة.

2-3 قانون حفظ الزخم الزاوي Angular Momentum Conservation Law

يبقى الزخم الزاوي الكلي J ، ونقصد الزخم الزاوي البرمي الكلي S والزخم الزاوي المداري L كمية ثابتة في إي تفاعل من التفاعلات الأربعة. لذا فهذا القانون يمثل سبب أخر لمنع اضمحلال الإلكترون والبوزترون إلى فوتون واحد.

فقد يحدث أن الالكترون يمحو البوزترون وهما بحالة سكون ($L = 0$) وزخميهما البرمي متعاكسين $S = 1/2\hbar$ ، وبذلك فزخمهما البرمي الكلي يساوي صفر، لذا فالزخم الزاوي الكلي (قبل الاضمحلال) $J = L_i + S_i = 0$ ، لكي

يبقى الزخم الزاوي محفوظا، أي ثابتا، يجب أن يكون الزخم الزاوي النهائي بعد الاضمحلال صفرا، $J_f = 0$. أن زخم الفوتون يساوي $1\hbar$ لذلك يجب انبعاث فوتونين باتجاهين متعاكسين لكي يصبح $J_f = 0$.

من الفرضيات على اضمحلال الإلكترون والبوزترون هو أنه قبل أن يضمحلا يكونان ذرة البوزترونيوم حيث أن البوزترون النواة ويبقيان يدوران حول مركز كتلتيهما المشترك إلا أن يلتقيا ويضمحلا فأن دام عمر الذرة $1.2\text{x}10^{-10}$ sec أدى اضمحلالهما إلى انبعاث فوتونين أما إذا دام عمر الذرة إلى $1.7\text{x}10^{-7}$sec أدى اضمحلالهما إلى انبعاث ثلاثة فوتونات.

$$e^- + e^+ \to 2\gamma \qquad S_i = 0 \qquad t = 1.2\times10^{-10}\ \text{sec}$$

$$e^- + e^+ \to 3\gamma \qquad S_i = 1 \qquad t = 1.4\times10^{-7}\ \text{sec}$$

2-4 قانون حفظ التناظر Parity Conservation Law

في الفقرة (3-3-1) أوضحنا أن صفة التناظر تشير إلى سلوك دالة الموجة الممثلة لحالة الجسيمة عند عكس إحداثيات الفضاء $\Psi(-x,-y,-z) = (+x,+y,+z)$، لقد كان من المعتقد أن التناظر تحفظ في جميع التفاعلات، فحفظها في التفاعلات المختلفة تعني أن الطبيعة لا تفضل اتجاه على أخر، إلى أن أثير السؤال حول عدم حفظ التناظر في التفاعل الضعيف من قبل لي- يانك (Lee-Yang) عام 1956 كتفسير لمشكلة الجسيمتان τ و θ وهاتان الجسيمتان عبارة عن جسيمتين متشابهتين في جميع خواصهما ما عدا التناظر،

فالجسيمة θ تتحلل إلى بايونيين ولهما تناظر زوجي وجسيمة τ تتحلل إلى ثلاث بايونات ولها تناظر فردي:

$$\tau \to \pi^+ + \pi^- + \pi^0$$
$$0 = 0 + 0 + 0 + L$$
$$L = 0$$
$$P_\tau = P_{\pi^+}.P_{\pi^-}.P_{\pi^0}.(-1)^L$$
$$P_\tau = -.-.-.(-1)^0 = -$$

$$\theta \to \pi^+ + \pi^-$$
$$0 = 0 + 0 + L$$
$$L = 0$$
$$P_\theta = P_{\pi^+}.P_{\pi^-}.(-1)^L$$
$$P_\theta = -.-.(-1)^0 = +$$

فكان الحل لهذه المشكلة هو أن التناظر لا تحفظ (تخرق) في التفاعل الضعيف (في درجات الحرارة الواطئة وبحالة الاستقطاب) ولذا اعتبرت الجسيمتان τ و θ عبارة عن جسيمة K^0 لها طوران من التحلل:

$$K^0 \to \pi^+ + \pi^- + \pi^0$$
$$t \approx 10^{-8}\ \text{sec.}$$

$$K^0 \to \pi^+ + \pi^-$$
$$t \approx 10^{-11}\ \text{sec.}$$

وعمليا يستدل على خرق حفظ التناظر في التفاعل الضعيف من انبعاث أحدى جسيمات التحلل في اتجاه معين وليس بشكل متناظر في جميع الاتجاهات وكمثال على ذلك انبعاث جسيمة π^-. باتجاه عند تحلل Λ^0. : $\Lambda^0 \to P + \pi^-$. فعلية فأن التناظر يحفظ في التفاعلات القوية والتفاعلات الكهرومغناطيسية كما تدل على ذلك التجارب. وقد تم استنتاج أن تناظر البايونات فردية وذلك بتطبيق قانون حفظ التناظر على التفاعل القوي وكما في

المثال الأتي:

$$\pi^{-} + d \rightarrow n + n \quad \text{تفاعل قوي}$$

$$P_{\pi^-} . P_P . P_n (-1)^{L_{Pn}} = P_n . P_n (-1)^{L_{nn}}$$

تدل التجارب على أن الزخم الزاوي المداري للبروتون في الديترون يساوي صفر عندما يكون الديترون في الحالة الأرضية ($L_{Pn}=0$) وكذلك أن الزخم الزاوي المداري للبايون والديترون يساوي صفر ($L_{\pi n} = 0$) أما الزخم المداري للحالة النهائية ($L_{nn} = 1$)، باعتبار أن النيوترون هو فيرميون وبذلك يخضع لمبدأ الاستثناء لباولي وبالتالي لا يمكن لنيوترونين أن يكونا بنفس الحالة الكمية : ففي حالة $S_{nn} = 1$ فان $L_{nn} = 1$ ليصبح $J_f = 0$

$$P_{\pi} . +_{+} + . + . + = + . + . -$$

$$P_{\pi} = -1$$

باعتبار البايونات بوزونات ($P_{\pi^-} = -P_{\pi^-}$) وتناظر البوزون يساوي تناظر الضديد.

2-5 قانون حفظ الشحنة Charge Conservation Law

تدل جميع التجارب على أن الشحنة كمية ثابتة. ففي عملية خلق الجسيمات من تحول الطاقة إلى المادة يكون مجموع الشحنات الموجبة مساويا لمجموع الشحنات السالبة، أي أن المجموع الكلي للشحنات المخلوقة يساوي صفر.

$$P+P \rightarrow P+P+P+P^{-}$$
$$+e+e=2e=+e+e+e-e=2e$$

$$K^{-}+P \rightarrow K^{-}+P+\pi^{+}+\pi^{-}$$
$$-e+e=0=-e+e+e-e=0$$

2-6 قانون حفظ الزخم الأيزوباري Isospion Conservation Law

تؤيد التجارب على أن الزخم يحفظ في التفاعل القوي فقط، أما مركبته الثالثة تحفظ في التفاعل القوي والتفاعل الكهرومغناطيسي. أما في التفاعل الضعيف فكلاهما يخرقان وسنوضح ذلك في التفاعلات الآتية الممثلة بالمعادلات والتي فيها ستجمع فيها أولا T_3 جمعا جبريا بينما T تجمع جمعا أتجاهيا :

1- في التفاعلات القوية

$$\pi^{+}+P \rightarrow \pi^{+}+P$$

جمعا أتجاهيا $\sum T \quad 1^{\rightarrow}+\frac{1}{2}^{\rightarrow}=\frac{1}{2}^{\rightarrow},\frac{3}{2}^{\rightarrow}$

جمعا جبريا $\sum T_3 \quad +1+\frac{1}{2}=\frac{3}{2}=+1+\frac{1}{2}=\frac{3}{2}$

$$\left(\sum T\right)_{initial}=\frac{3}{2}=\left(\sum T\right)_{final}=\frac{3}{2} \qquad \left(\sum T_3\right)_{initial}=\left(\sum T_3\right)_{final}$$

لأنه لا يمكن أن تكون لـ $T_3=\frac{3}{2}$ عندما $T=\frac{1}{2}$. وبذلك نلاحظ أن كلا من الزخم الايزوباري ومركبته الثالثة يحفظان في التفاعل القوي.

2- في التفاعلات الكهرومغناطيسية

$$\Sigma^{0} \rightarrow \Lambda^{0}+\gamma$$

جمعا جبريا $\sum T_3 \quad 0=0+0=0$

جمعا أتجاهيا $\sum T_i=T_i \neq 0=T_f$

$$\pi^{0} \rightarrow \gamma+\gamma$$

جمعا جبريا $\sum T_3 \quad 0=0+0=0$

جمعا أتجاهيا $\sum T_i=T_i=1^{\rightarrow} \neq 0=T_f$

وبذلك نجد انه في التفاعلات الكهرومغناطيسية يخـرق الـزخم الايزوبـاري بينما تحفظ مركبته الثالثة.

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + P$$

$$0 = -1 + \frac{1}{2} = \frac{-1}{2} = T_{3f} \neq T_{3i}$$

جمعا جبريا $\sum T_3$

جمعا $T_i = 0 = 1 + \frac{1}{2} = T_f = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$

أتجاهيا

$$T_f \neq T_i$$

جمعا $T_i = 0 = 1 + \frac{1}{2} = T_f = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$

أتجاهيا

$$T_f \neq T_i$$

3- في التفاعلات الضعيفة

نلاحظ أنه في التفاعل الضعيف كلا من الزخم الايزوباري ومركبته يخرقان.

2-7 قانون حفظ الغرابة Strangeness Conservation Law

في الفقرة (6-3-1) ذكر أن الجسيمة الغريبة لا تخلق في التفـاعلات القويـة إلا مع جسيمة لها غرابة معاكسة، أما تحللهـا فيخضـع للتفاعـل الضـعيف ويكـون انفراديا، وبالطبع أن اضـمحلال جسـيمة غريبـة مـع ضـديدها يكـون خاضـعا للتفاعل القوي. هذه الملاحظات دفعت كلمان و نيشيجيما لصياغة قانون حفظ الغرابة: فالغرابة تحفظ، أي المجمـوع الجبـري للغرابـة قبـل التفاعـل يسـاوي المجمـوع الجبـري للغرابـة بعـد التفاعـل، في التفـاعلات القويـة والتفـاعلات

الكهرومغناطيسية تحفظ الغرابة لكنها تخرق في التفاعلات الضعيفة.

1- في التفاعلات القوية

$$K^- + P \to K^- + P + \pi^- + \pi^-$$

$$\sum S \qquad -1+0=-1=S_i=1-+0+0=-1=S_f=S_i$$

الغرابة تحفظ في التفاعلات القوية.

2- في التفاعلات الكهرومغناطيسية

$$\Sigma^0 \to \Lambda^0 + \gamma$$

$$\sum S \qquad -1=-1=S_i=-1+0=-1=S_f=S_i$$

نلاحظ الغرابة تحفظ في التفاعلات الكهرومغناطيسية.

3- في التفاعلات الضعيفة

$$\Xi^- \to \Lambda^0 + \pi^-$$

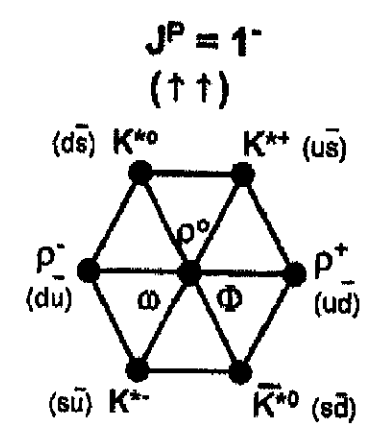
$$\sum S \qquad -2=-2=S_i=-1+0=-1=S_f \neq S_i$$

الغرابة تخرق في التفاعلات الضعيفة.

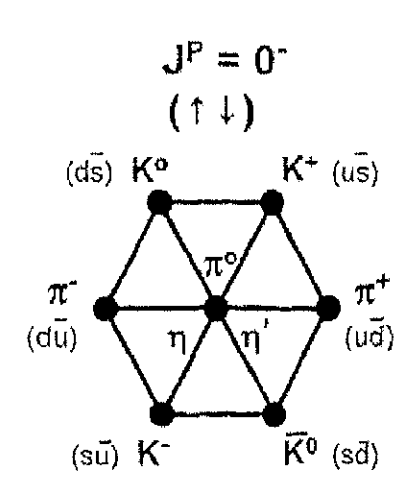
الفصل الثالث

الكواركات Quarks

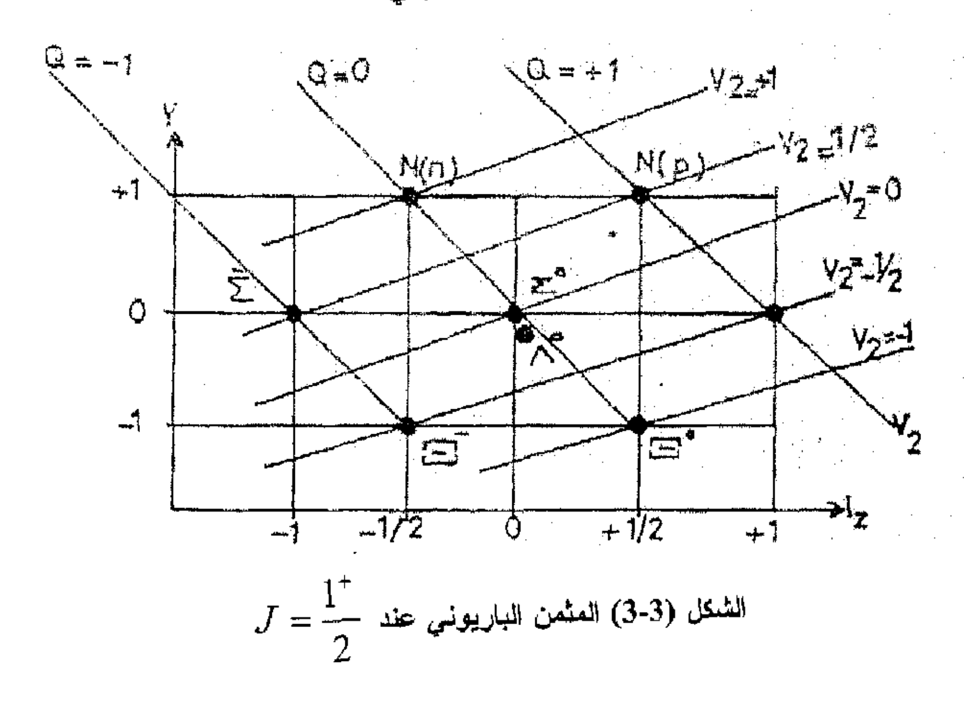
بعد نجاح فكرة الزخم الايزوباري، حيث رتبت الجسيمات في مجاميع أحادية وثنائية وثلاثية، وبعد ازدياد عدد الجسيمات بذلت محاولات عديدة لتصنيف وتجميع هذه الجسيمات. ومن هذه المحاولات طريقة كلمان الثمانية (Gellmann eight fold way) والتي تسمى أيضا نظرية SU(3). ومن توقعات هذه النظرية أمكانية ترتيب الميزونات والباريونات في مجاميع أحادية، ثمانية وعشرية. ولقد تم فعلا الحصول على مثل هذه المجاميع وذلك برسم مجموع الغرابة والعدد الباريوني والذي يسمى بالشحنة الفوقية (hypercharge) $Y=S+B$ كدالة للزخم الايزوباري T_3. ومن أبرز نجاحات هذه النظرية التنبؤ بوجود جسيمة أسماها كلمان جسيمة Ω^- والتي تتصف بشحنة سالبة وغرابة $S = -3$ و $T = T_3 = 0$ وكتلتها تساوي 167 5MeV $\left(M_\Sigma - M_N = M_\Xi - M_\Sigma = M_{\Omega^-} - M_\Xi\right)$.



الشكل (3-1) المثمن الميزوني عند $J = 1^-$



الشكل (3-2) المثمن الميزوني عند $J = 0^-$



الشكل (3-3) المثمن الباريوني عند $J = \frac{1^+}{2}$

من الشكل (3-3) نلاحظ ما يأتي:

1- البروتون والنيوترون ينتميان إلى نفس النظائر المزدوجة (مجموعة ثنائية أيزوبارية) لها $T = 1$ والمركبة الثالثة $T_3 = \frac{1}{2}$ للبروتون و $T_3 = \frac{-1}{2}$ للنيوترون.

2– جسيمة سكما Σ هي ثلاثية النظائر و جسيمة كساي Ξ هي ثنائية النظائر .

3 – الجسيمات التي تقع على نفس الخط الأفقي تكون النظائر المتعددة والمتشابهة.

4 – جميع الجسيمات الموجودة في الشكل لها برم $S=\frac{1}{2}$ وتناظر موجب. لذا فأن أسمها في بعض الأحيان يطلق عليه $S=\frac{1^+}{2}$ الثمانية (Octet *J* =1/2$^+$).

لحد الآن لن نرى شيئا جديدا. لكن عند تغيرنا للمحاور بحيث نجمع جسيمة البروتون P مع جسيمة سكما Σ^+ والتي هي على نفس الخط المائل فنحن نستطيع القول بأنها تكون مجموعة جديدة لها مظهران بنفس القاعدة. أذن سوف نقدم عددا كميا مشابه إلى البرم الايزوباري والذي هو البرم الموحد *U* (Unitary spin). وبذلك نقول بأن Σ^+P+ تشكل الزوج الموحد (Unitary doublet) وبقيمة إلى *U* مساوية إلى $\frac{1}{2}$. هناك قيمتان إلى *U*: الأولى $U_Z=+\frac{1}{2}$ وهذه للبروتون أما الثانية فهي $U_Z=-\frac{1}{2}$ وهذه إلى Σ^+ وهكذا لبقية الجسيمات.

أما الخط المائل الأسفل فهو يمر في Σ^- ، Ξ^- وهذه أيضا تمثل الزوج الموحد مع $U_Z(\Sigma^-)=+\frac{1}{2}$ و $U_Z(\Xi^-)=-\frac{1}{2}$. وأخيرا الخط المائل في الوسط فيمر بثلاث جسيمات هي النيوترون و Σ^0 ، Ξ^0 لذا فهو ثلاثي مع $U_Z=1$ وأن $U_Z(n)=+1$ ، $U_Z(\Sigma^0)=0$ ، $U_Z(\Xi^0)=-1$. ومن الملاحظ في الشكل أن

الجسيمات الواقعة على نفس الخط المائل لها نفس الشحنة. كذلك فأن

$$U_Z = Y - \frac{Q}{2} \quad \text{..............................} (3-1)$$

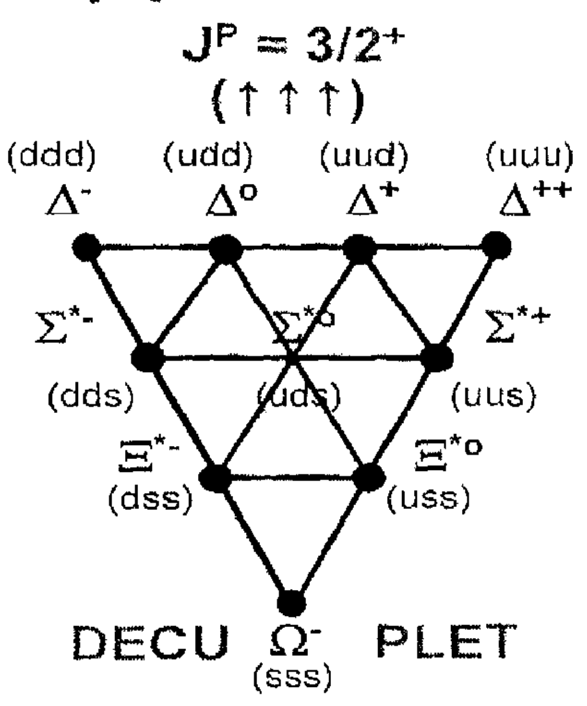
ومن المعادلة

$$T_3 = Q - \frac{Y}{2} \quad \text{..............................} (3-2)$$

نحصل على :

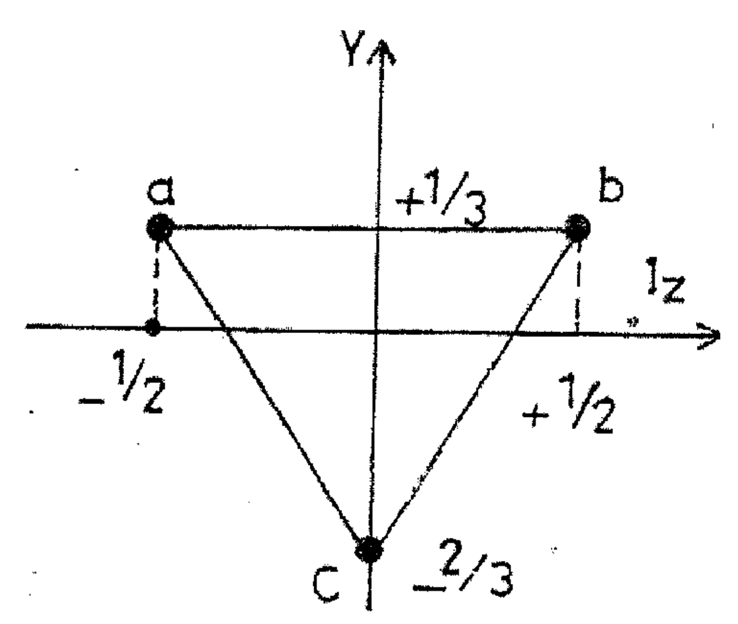
$$U_Z = \frac{3Q}{2} - 2T_3 \quad \text{..............................} (3-3)$$

وهذه النظرية للانفصال، تعتمد على U والتي هي عامل جديد لنظرية SU(3)



الشكل (4-3) المعشر الباريوني عند $J = \frac{3^+}{2}$

الآن لنرى أهمية نظرية SU(3). قلنا أن الباريونات تمثل ثماني حالات لجسيمات لها $J^p = \frac{1^+}{2}$. وللميزونات هناك أيضا ثماني حالات لجسيمات أخرى لها $J^p = 0^-$. وإذا افترضنا أن هذه الجسيمات ترتبط مع بعضها وبذلك يكون هنالك 64 حالة مختلفة هذه الأربع والستون حالة تتجمع في مجاميع (1,8,8,10,10,27). مثلا ضرب الباريونات الثمانية مع نفسها سوف يعطينا كل الحالات المستقرة وغير المستقرة المتكونة من باريونين.



الشكل (3-5) مجموعة A متكونة من ثلاثة أعضاء $A = (a, b, c)$

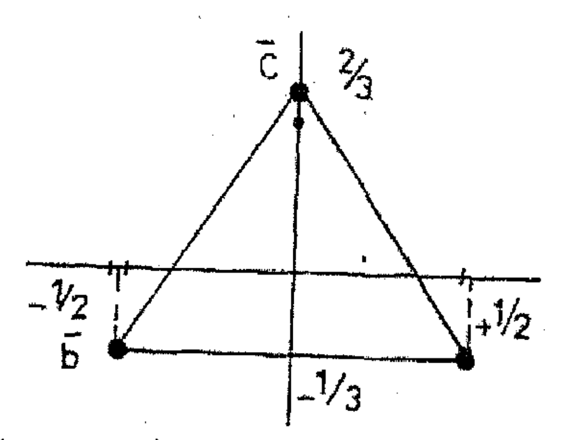
لنفرض أن المجموعة A متكونة من ثلاثة أعضاء (a, b, c) يمكن تمثيلها بالمثلث الذي رأسه إلى الأسفل (الشكل (3-5)) وبدالة (3) . المجموعة الثانية إلى A هي A^- (A المضادة) حيث تتكون من ثلاثة أعضاء مضادين للمجموعة الأولى وهم a^-, b^-, c^- ويمكننا تمثيلها بمثلث رأسه إلى الأعلى (الشكل (3-6))

وبدالة (3^-)، ويربط أعضاء المثلثين مع بعض تنتج مجموعة تمثل بالدالة (3^-)×(3) وتشمل تسع أعضاء. ومن الممكن كتابة هذه المجموعة من ثمانية أعضاء زائدا واحد وكما يأتي:

$$(3) \otimes (3^-) = (8) \oplus (1)$$

أما في حالة ضرب مجموعتين من ثمانية أعضاء فنحصل على أربعة وستين عضوا وكما يلي:

$$(8) \otimes (8^-) = 27 = 10 + 10 + 8 + 8 + 1$$

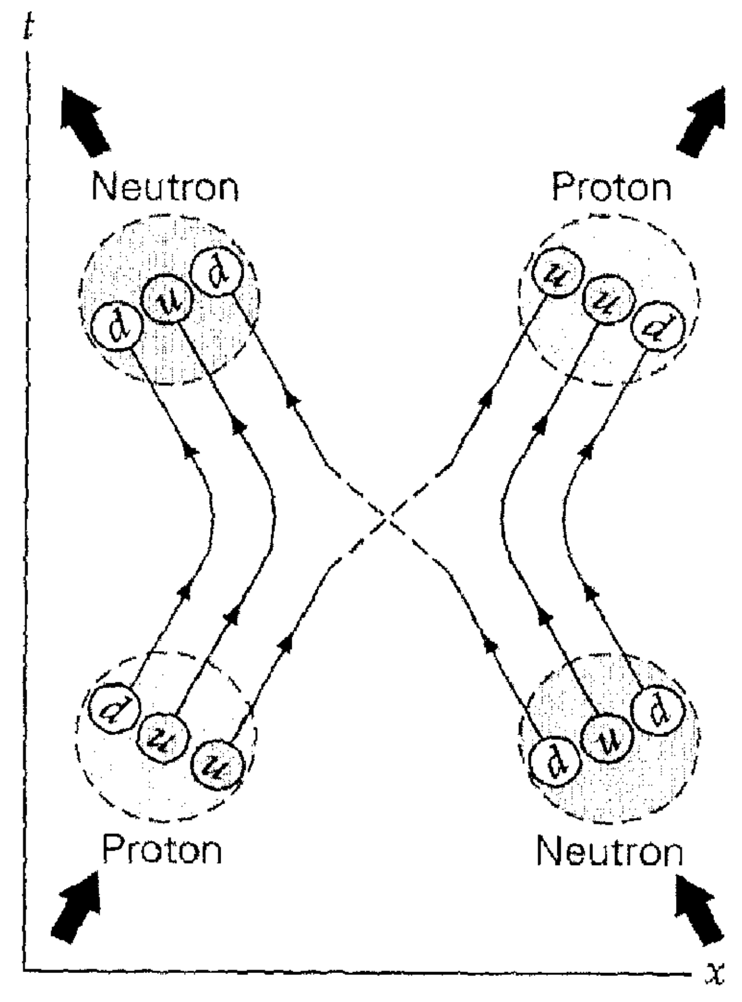


الشكل (3-6) مجموعة A^- متكونة من ثلاثة أعضاء $A^- = (a^-, b^-, c^-)$

3-1 الكواركات Quarks

استمرارا للبحث عن العناصر الأولية لتركيب المادة، وجد العلماء المعاصرون في السنين القليلة الماضية ما يشير إلى أن البروتونات والنيوترونات وغيرها من الجسيمات الأولية تتكون من وحدات أصغر، يتكون منها بنيان تلك الجسيمات تسمى بالكوارك Quark.

أن هذه الكواركات هي ما يجب أن نعتبره الآن اللبنة الأساسية الحقيقية للمادة. لذلك وضع النظريون نموذجا للتركيب الداخلي للبروتونات والنيوترونات وجميع الجسيمات مفاده أن: الجسيمات بأنواعها تتركب أساسا من ثلاثة أنواع من لبنات أساسية تسمى الكوارك Quark ، أنظر الشكل (7-3).



الشكل (7-3)

2-3 نموذج الكوارك Quark Model

في عام (1956) تقدم ساكاتا Sakata باقتراح، وذلك بعد اكتشاف جسيمة Λ^0، هو أن جميع الباريونات والميزونات متكونة من أجزاء يطلق عليها تحت الوحدات (subunits) وهي ثلاثية ومتكونة من λ, n, P مع جسيماتها المضادة لها.

في هذا النموذج الميزونات تتكون من زوج من الجسيمات (الجسيمة وضديدها) وكما قلنا سابقا ونسبة إلى نظرية المجموعة (نظرية الزمر) فأن حاصل الضرب المباشر للثلاثيات يكون الميزونات:

$$3 \otimes 3^{-} = 8 \oplus 1$$

إما الباريونات فأنها تتكون من ثلاث جسيمات وذلك لحفظ العدد الكمي الباريوني. أما ناتج الضرب المباشر للثلاثيات فيكون الباريونات:

$$3 \otimes 3^{-} \otimes 3 = 15 \oplus 6 \oplus 3 \oplus 3$$

وبعد ذلك، ولأول مرة، لاحظ كل من كلمان و زيواك Gellmann-Zweig عام (1965) بأن نموذج ساكاتا Sakata لم يعطي البناء الصحيح للباريونات وأن النموذج البديل له هو :

$$3 \otimes 3^{-} \otimes 3 = 10 + 8 + 8 + 1$$

والذي يعطي النتيجة الصحيحة والمطلوبة. لقد أطلق كلمان أسم الكوارك

(Quarks) على هذه الجسيمات والتي تؤلف الباريونات. ومن علاقة كلمان- نيشيجيما أمكن تخمين شحنة هذه الجسيمات الافتراضية (الكواركات) وكما يأتي:

$$Q = T_3 + \frac{Y}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-4)$$

وقد وجد أن شحنة الكوارك هي شحنة جزئية (fractional) من شحنة الإلكترون وبهذا تكون قيمة شحنة الإلكترون ليست بأصغر وحدة أساسية كما نعرفها.

جميع الأعداد الكمية والخواص الأساسية لجسيمات الكوارك موضحة بالجدول (3-1) أما الأعداد الكمية للكوارك المضاد فهي نفسها مع عكس الإشارات.

الجسيمة الثلاثية	Q	A	S	Y	I	T_3	الكتلة
البروتون P	$+2e/3$	$1/3$	0	$1/3$	$1/2\hbar$	$1/2$	M
النيوترون n	$-e/3$	$1/3$	0	$1/3$	$1/2\hbar$	$-1/2$	M
الهايبرون λ λ	$-e/3$	$1/3$	-1	$-2/3$	$1/2\hbar$	0	$M+140MeV$

وقد أستطاع كلمان أن يميز الكواركات بعضها عن البعض بالتعبيرات (فوق up) و (تحت down) و (غريب strange) ورمز لها بالرموز u, d, s على التوالي. وأفترض أن برم كل منها هو $S = 1/2\hbar$، بينما تختلف الشحنة عليها فهي جزء من شحنة الالكترونات يساوي $\pm 1/3$ أو $\pm 2/3$.

ونظرا لضعف التحقق عمليا من وجود الكوارك، لذلك فمن المعتقد أن الكوارك لا يستطيع الظهور منفردا، ربما بسبب وجود قوة غير عادية من ناحية الكبر تربطها ببعض داخل الجسيمات مما يمنع هروبها فرادى. ويسمى هذا النوع الجديد من القوى بقوى اللون (color forces) ولأسباب خاصة بميكانيك الكم وجد العلماء أن:

1- الكوارك يوجد على ثلاث صور، تميزها الألوان الثلاثة الأحمر والأخضر والأزرق (RBG).

2 - ومن البديهي أن هذه العلامات التي تميز الكوارك لا تمت بصلة للألوان المألوفة، وإنما تكون هذه العلامات صفات مميزة للمادة. وتبقى دائما هذه العلامات مختفية داخل الجسيمات، إذ أن جميع الجسيمات لا لون لها، فهي تتكون من خليط من الكوارك له الألوان الثلاثة، فمثلا يحتوي البروتون على ثلاثة كواركات ألوانها الأحمر والأخضر والأزرق ولذلك فالبروتون لا لون له.

3 - يرجح العلماء مصدر هذه القوى غير المعتادة بين الكوارك إلى لونها، مثلما ترجع قوى الجاذبية إلى الكتلة والقوى الكهرومغناطيسية إلى الشحنة.

لذلك يدخل مجال القوة اللونية ضمن مجالات القوى الأساسية كالجاذبية والكهرومغناطيسية، وبسمي العلماء هذه النظرية الجديدة لقوى اللون بديناميكا

اللون الكمية (Quantum Choromodynamic QCD) .

وتفسير وجود قوى اللون بين الكوارك إلى رابطة كبيرة يحدثها تبادل الكواركات فيما بينها لجسيم معين أطلق عليه الجليون (Gluon). وقد شبة هذا الانتقال إلى حد ما بتبادل الفوتون بين جسيمين مشحونين، وان كانت العملية هنا أعقد من ذلك. فالجسيم الجديد (جليون) له لون يأخذه معه عند انتقاله من كوارك إلى أخر تاركا الكوارك الابتدائي بلون أخر. فالجليون ذرة حاملة للون.

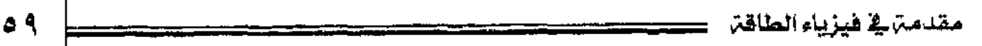
ولكي تتفق نظريات العلماء مع المشاهدات التجريبية كان من الضروري افتراض وجود كوارك رابع غير الثلاثة المعروفة u, d, s سمي (تشارم charm) ويرمز له بالرمز c وتوجد عليه شحنته 2/3 وكتلته 1500 MeV. ثم بعد ذلك أكتشف في مختبر فيرمي الكوارك الخامس وأطلق عله أسم قاع (بوتوم bottom) نظرا لكتلته الضخمة. ومن ثم جاءت البحوث النظرية بعد ذلك تؤكد ضرورة وجود كوارك سادس يسمى قمة (توب top) وقد تم التحقق من وجوده عمليا عام ١٩٨٤ في مختبرات سيرن بسويسرا.

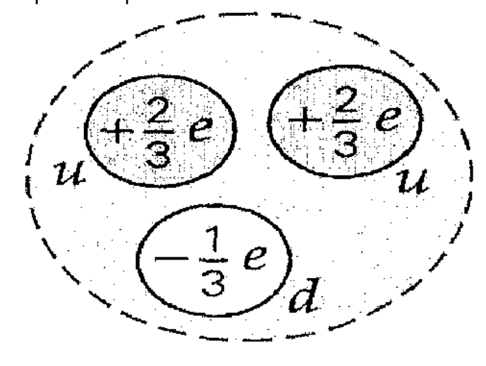
وبوجود ستة كواركات وستة ضديدات لها، كما أن لكل كوارك يمكن أن يكون له ألوان ثلاثة أحمر وأخضر وأزرق لذلك يكون العدد الكلي للكوارك هو ستة وثلاثين .

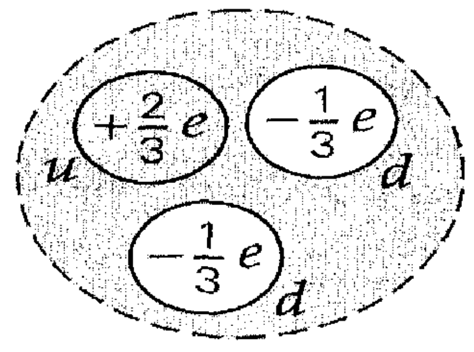
$$\{u, d, s, c, b, t\}\ RBG$$
$$\{\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}\}\ RBG$$

من النماذج الأخرى للكوارك، هو أنه ظهرت فكرة جديدة وهي أن الكوارك يكون حاملا لشحنة كاملة (1e) بدلا من جزء من الشحنة (e) وقد عرض هذا النموذج من قبل باكري (Bacry) عام 1964 و لي (Lee) عام 1965.

أما النموذج الأخير الذي قدم من قبل فاينمان (Feynman) عام (1964)، في هذا النموذج لخص فاينمان بأن النيوكليونات والهيدرونات الأخرى عند ارتباطها تكون جسيمات البارتون (Partons). هذا النموذج أستخدم بصورة واسعة ولاقى بعض النجاحات في استطارة اللبتون- هايدرون. على كل حال، جميع هذه النماذج درست تجريبيا ووجد أن لكل نموذج صعوباته الخاصة والمعينة. الشكل (8-3) يوضح بأن الهايدرونات مكونة من ثلاثة كواركات بينما الميزونات مكونة من كوارك-ضديد الكوارك.



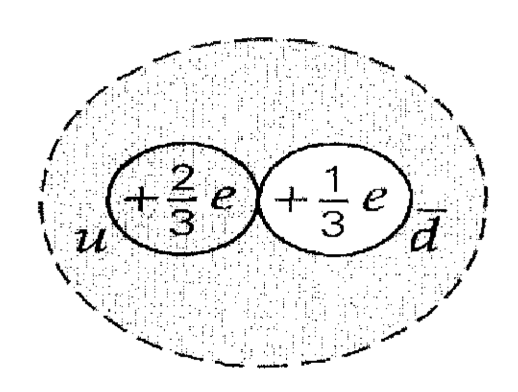




Proton (uud)
$q = +e$

Neutron (udd)
$q = 0$

(a)



Positive pion, π^+ ($u\bar{d}$)
$q = +e$

(b)

الشكل (8-3)

هنالك تجارب عديدة استخدمت فيها المعجلات الكبيرة والحديثة وذلك لإنتاج جسيمات الكوارك والجسيمات الأولية الأخرى. ففي هذه التجارب كانت تقذف بروتونات ذات طاقة عالية جدا على هدف ما. أذن، البحث عن هذه الجسيمات الجديدة كان يجري من خلال دراسة نواتج التفاعلات. أن

الطرق التجريبية التي أجريت للتعرف على هذه الجسيمات اعتمدت على حساب الشحنة أو الكتلة ففي النوع الأول كانت فكرة الطاقة الضائعة هي التي تحدد الشحنة للجسيمات. لذلك استخدمت العدادات الوميضية أو الكواشف المرئية الأخرى مثل غرفة الفقاعة لهذا الغرض. أما النوع الثاني فهو لإيجاد الكتلة بغض النظر عن الشحنة، الكتلة تم قياسها من خلال السرعة (عندما يكون الزخم ثابتا) وذلك بواسطة عدادات شرنكوف مثلا.

3-3 المجال الكمي لوصف الجسيمات المتبادلة التفاعل Quantum Field Description for Exchange Particles interaction

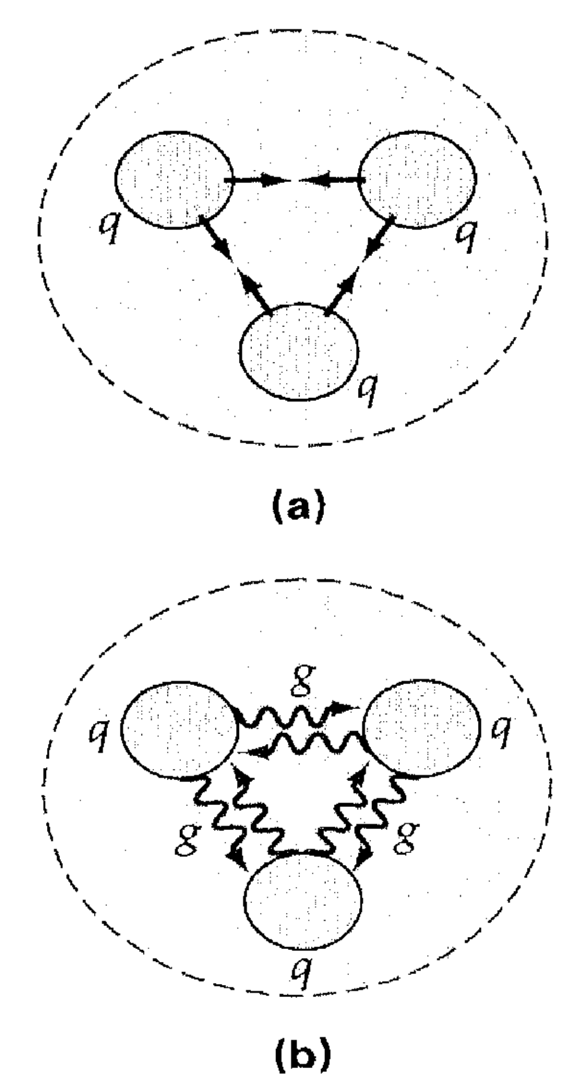
القوة النووية القوية التي تمسك بالكواركات معا في البروتون والنيوترون وتمسك البروتونات والنيوترونات معا في نواة الذرة، ومما يعتقد أن هذه القوة يحملها جسيم أخر يسمى الجليون (gluon) وبرمه يساوي واحد يتفاعل فقط مع نفسه ومع الكواركات. والقوة النووية القوية لها خاصية غريبة تسمى التقييد (confinement) فهي دائما تربط الجسيمات معا في توليفات عديمة الألوان، ولا نستطيع أن نجد كواركا وحيدا بذاته حتى الآن على الأقل ألا من بعض الإشارات غير التأكيدية (في تجربة فبراير عام ٢٠٠٠ في مركز الأبحاث النووية في جنيف CERN) حيث ظهرت بعض الدلائل لاستحداث حالة جديدة للمادة تتصف بالعديد من الخصائص المتوقعة لبلازما الكواركات - الجليونات

(quark-gluon) والتي نتجت عن تصادم أنوية الرصاص المقذوفه بسرعة تقارب سرعة الضوء على ألواح رقيقة مصنوعة من الرصاص أيضا تتكون كرة نارية مضطربة من اصطدام النواتين الثقيلتين للرصاص ^{208}Pb ينشأ عنها حالة ساخنة وكثيفة بدرجة تكفى لتحرر الكواركات التي كانت ملتصقة يبعضها بواسطة الجليونات.

ومن المعروف بالنسبة للتركيب الكواركي للبروتون أو والنيوترون فأنه يتكون من ثلاث كواركات (احمر وأخضر وازرق) مربوطة بخيط من الجليونات (مثل الغراء) الذي يربط الأشياء، أنظر الشكل (9-3)، وهناك أمكان أخر هو أن يكون ثمة ثنائي يتألف من كوارك ومضاد كوارك (أحمر+مضاد الأحمر) أو (أخضر + مضاد الأخضر) أو (ازرق+ مضاد الأزرق) وهذه التوليفات تؤلف الجسيمات المعروفة بالميزونات وهي غير مستقرة لأن الكوارك ومضاده يمكن أن يفني أحدهما الأخر لتنتج الكترونات وجسيمات أخرى، بالمثل، فأن التقيد بمنع وجود جليون وحيد بذاته، لأن الجليونات لها لون وبدلا من ذلك توجد مجموعة من الجليونات مع بعضها لتكون ألوانها اللون الأبيض وهذه المجموعة تشكل جسيما غير مستقر يسمى كرة اللصق (Guleball).

وتوجد خاصية أخرى للقوى النووية تسمى الحرية التقريبية (asymptotic freedom)

تجعل مفهوم الكواركات والجليونات محددا على نحو جيد، فعند الطاقات العادية تكون القوة النووية هي حقا قوية وتربط الكواركات معا بشدة، على أن تجارب معجلات الجسيمات الكبيرة تدل على أنه عند الطاقات العالية تصبح القوة النووية أضعف كثيرا وتسلك الكواركات والجليونات بما يكاد يماثل الجسيمات الحرة.



الشكل (3-9)

3-4 الديناميكا الكهربائية الكمية Quantum Electrodynamics (QED)

أن وصف الجسيمات المتبادلة بدلالة مجالات كمية يتطلب أدوات رياضية معقدة إلى حد بعيد، ولمن نستطيع القول بأنه في نظرية المجال الكمي يتصل وجود القوى وطبيعتها اتصالا وثيقا مع وجود الجسيمات فهي تصف الجسيمات والموجات والقوى وصفا موحدا. فإذا نظرنا للديناميكا الكهربائية الكمية كمثال لنظرية المجال الكمي نجد أنها تصف القوى بين الإلكترونات أو البوزوترونات التي تنتقل بواسطة المجال الكهربائي (الفوتونات) التي يمكن أن تنبعث بواسطة الالكترونات المتفاعلة تبادليا كما عرفنا. ولقد حققن نظرية (QED) بعض النجاحات الكبيرة في وصف التفاعلات الكهرومغناطيسية للجسيمات المشحونة وعلى الأخص في الفيزياء الذرية وذلك بخلاف اقتراحات النظريات المجالية الأخرى التي صممت لوصف التفاعلات البينية الضعيفة والقوية التي لم تلق إلا نجاحا قليلا بالمقارنة لهذه التفاعلات الكهرومغناطيسية.

من هذا الوصف السابق نخرج إلى استعراض السمات الأساسية لنظرية المجال الكمي تستخدم المجالات الكمية بصفة عامة لوصف الجسيمات وتفاعلاتها المتبادلة، هذه المجالات هي دوال لموضع الزمان والمكان لأي أنها تقوم بوصف الحالة المحلية للفراغ، وهذه الدوال رياضية تعرف بتوزيعات

مقيمة مختبريا، كما أن المظاهر الموجية للمادة من مفاهيم النظرية ولهذه الموجات مظاهر جسيميه أيضا، فبالنسبة لجسيم محدد بطريقة جيدة يناظر حزمة موجية مركزة يكون أكبر احتمالات وجود الجسيم في تلك المناطق من الفراغ- الزمن التي تكون فيها سعة المجال كبيرة.

ولا يفوتنا أن نذكر بمحاولة هايزينبرك لصياغة ما سمي بنظرية مصفوفة S للتفاعلات المتبادلة للجسيمات حاول فيها بأن يقبل بتلك المفاهيم التي توجد لها أهمية واضحة، تتعلق فقط بنتائج عمليات التصادم وليس بتفاصيل تتابع أحداث من خلال العملية ولكن كل ذلك لم يصل إلى نظرية مناسبة أو مرضية.

5-3 الديناميكا اللونية الكمية Quantum Chromodynamics (*QCD*)

امتدا لما سبق، أذا نظرنا للديناميكا اللونية كمثال امتدادي لنظرية المجال الكمي نجد أنها تصف القوى أو التفاعلات القوية في النموذج القياسي (المعياري).

وتتفق النظرية الخاصة بالديناميكا اللونية الكمية مع *QED* في أنهما يصفان التفاعلات التي يكون وسيطها البوزونات عديمة الكتلة ذات البرم $S = 1\hbar$ وتسمى بوزونات معيارية أو قياسية، ونظريات هذا النوع تسمى نظريات قياسية

gauge theories حيث تتناول الخاصية التماثلية المسماة بالثابت المعياري gauge invariance الذي يلعب دورا مهما في المعالجات النظرية لكل من الديناميكا الكهربائية الكمية واللونية الكمية *QED* و *QCD* والتي تستخدم في استنتاج الأشكال التفصيلية للتفاعلات بالرغم من الاختلاف في شدتها، ففي حالة *QED* تكون البوزونات عبارة عن فوتونات، وفي حالة *QCD* فأن البوزونات هي عبارة عن الجليونات وهي عديمة الشحنة مثل الفوتونات ولكنها مصبوغة بشحنة لونية يرمز لكل نوع منها برمز معين.

وهذا أدى إلى ما يسمى بالنكهات المستقلة للتفاعلات القوية (flavour independent) هذا يعني أن يكون لكل نكهة كواركية من الأنواع الستة (u, d, s, c, b, t) تفاعل قوي مماثل لأنها موجودة في حالات لونية (أحمر r، أخضر g، أزرق b) حاملة نفس القيم المحتملة من الشحنات اللونية colour charges.

3-6 نظريات توحيد القوى والمجالات

إن تقدم ميكانيك الكم جعلنا نتبين أن التفاعلات هي مما لا يمكن التنبؤ بها بدقة كاملة وإنما هناك درجة من عدم التحديد، مما جعل أهل الاختصاص يعيدون صياغة تحديد أهدافهم البحثية التي تتجه إلى محاولة الوصول إلى نظرية موحدة بدلا من وجود عدد كبير من النظريات التي تعالج جسيمات يتم تنقيحها

وتعديلها ولكن لا تصل إلى حد كاف يصف لنا الكون وحتى - بالوصول إلى نظرية موحدة كاملة فهذا لا يعني أنه سوف يمكن التنبؤ بالأحداث عامة نظرا لمبدأ عدم التحديد وكذلك بسبب عدم استطاعة حل المعادلات النظرية بطريقة مضبوطة إلا في المواقف البسيطة جدا، والوضع حولنا ليس بالبساطة التي يمكن صياغتها بطريقة بسيطة ولكن نستطيع القول أننا سنستعرض بعض المحاولات التي تجعلنا نفهم فهما قريبا من الكمال الذي ينسجم مع الحقيقة.

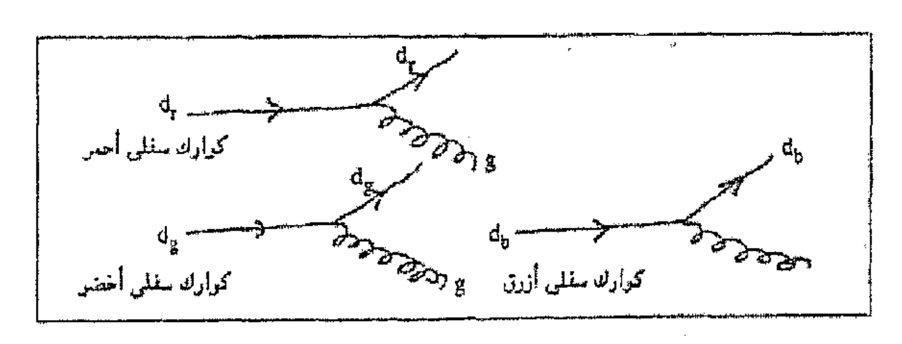
لنبدأ من منتصف القرن التاسع عشر بمحاولة ماكسويل لتوحيد القوى الكهربائية مع الأخرى المغناطيسية لتصبح قوة كهرومغناطيسية، ثم نأخذ نقلة قرن من الزمان لنلقى نظرة أيضا على توحيد القوة النووية الضعيفة مع القوة الكهرومغناطيسية لتسمى بالقوة الكهروضعيفة بواسطة العالمين عبد السلام و واينبرج عرفت أيضا بنظرية واينبرج - سلام، التي بينت خاصية تعرف بكسر التماثل تلقائيا والتي وضحت كيفية وجود نفس النوع الواحد من الجسيمات في حالات مختلفة بدلا مما كان يبدوا أنه عدد من الجسيمات المختلفة (ذلك عند الطاقات المختلفة)، أما في الطاقات العالية فان هذه الجسيمات تتصرف بطريقة متماثلة، فمن المعروف في هذه النظرية بالنسبة للجسيمات الثلاث الجديدة Z^0, W^-, W^- هي والفوتونات كلها تتصرف بطريقة متماثلة عند الطاقات الأكبر من 100 GeV أما في الطاقات المنخفضة فان هذا التماثل بين الجسيمات يكون

غير موجود وستكتسب Z^0, W^-, W^+ كتلا كبيرة مما يجعل القوى التي تحملها ذات مدى قصير.

المحاولة الثانية كانت توحيد القوة النووية مع القوة الكهروضعيفة لتسمى القوة الموحدة العظمى Grand Unified Theory (*GUT*) ، والطاقة العالية التي تجعل القوى الثلاث لها نفس الشدة تكون كبيرة جدا وتسمى طاقة التوحيد العظمى، وهي أكبر من 10^{15} *GeV* والتي ليست متاحة حاليا في معجلات الجسيمات، وفي ضوء المعرفة للتركيب الكواركي للبروتون الذي يتالف من ثلاث كواركات وأنه عند طاقة التوحيد العظمى لا يوجد فرق جوهري بين الكوارك وضديد الإلكترون، وان هذه الكواركات الثلاثة داخل البروتون ليس بها طاقة كافية لتتغير إلى مضاد الإلكترون- أما أذا حدث ذلك مصادفة باعتبار مبدأ عدم التحديد الذي يجعل من طاقة الكواركات داخل البروتون غير ثابتة وبالتالي سوف يتحلل إلى البروتون بالرغم من ضآلة هذا الاحتمال الذي يكون فيه طبقا لتوقع أبسط نظريات *GUT* هو $\left(\frac{1}{10}\right)^{30}$، فإذا سألنا أنفسنا ما الهدف من الاهتمام بهذا التحلل للبروتون؟ ربما تكون الإجابة في تفسير الوجود الكوني من العملية العكسية لهذا التحلل التلقائي لتتكون البروتونات بعد الكواركات التي هي أصل المادة الكونية في هذا التصور.

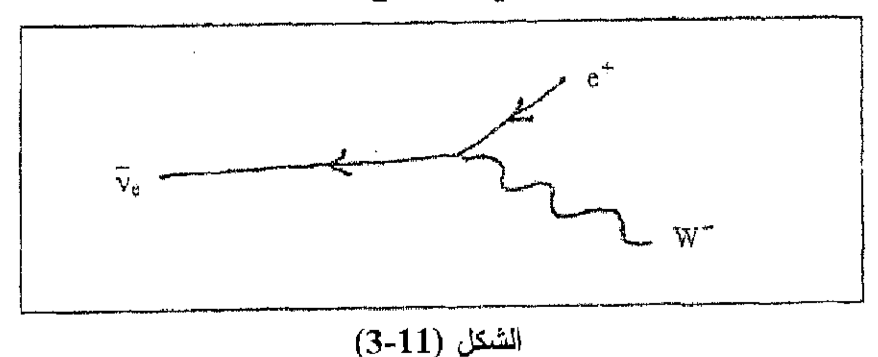
وفي تطور أخر، فأنه توجد عدة طرق تشكل هذه النظرية الموحدة العظمى

والنظرية GUT والتي تتنبأ بكل من الديناميكا اللونية الكمية QCD والنظرية الكهروضعيقة الموحدة عند الطاقات التي تم الوصول إليها، وقد ساهم جورجي و جلاشو عام 1974 في ضم الكواركات واللبتونات في عائلات مشتركة، فعلى سبيل المثال توجد ثلاث حالات لونية للكوارك السفلي (*d*) في النموذج المعياري (القياسي) (standard model) يمكن أن تتحول إلى بعضها البعض عن طريق انبعاث الجليون لكل حالة لونية من الكواركات الثلاث (d_r, d_g, d_b) كما في الشكل (3-10).



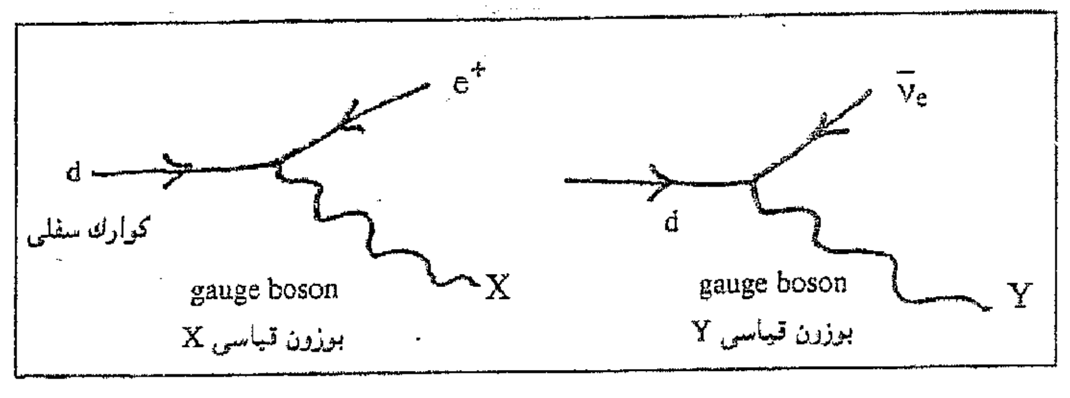
الشكل (3-10)

بينما يمكن تحول البوزتون والنيوترينيو (e^+, ν_e^-) إلى بعضهما البعض عن طريق انبعاث البوزونات $W^\pm$ كما في الشكل (3-11) .



الشكل (3-11)

إضافة إلى أنه يمكن تحول الكواركات واللبتونات إلى بعضهما البعض كما في الشكل (3-12).



الشكل (3-12)

حيث يحتويان على انبعاث بوزونين قياسيين X,Y يحملان شحنتين $-\frac{1}{3},-\frac{3}{4}$ على الترتيب في حين تكون الكتلة الموحدة M_X في حدود $M_X = \left(10^{15}\,GeV/c^2\right)$ (Unification mass M_X) وعند هذه الكتلة الموحدة فأن جميع العمليات الممثلة بالأشكال السابقة تكون مميزة بثبات تمييزي يسمى ثابت الازدواج الأعظم (grand unified coupling constant) g_u قيمتنه المناظرة لثابت التركيب الدقيق تأتي من:

$$\alpha_u = \frac{g_u^2}{4\pi} \cong \frac{1}{42} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3-5)$$

وقبل أن ننتقل إلى أحدث محاولات توحيد القوى الموجودة في الطبيعة نستعرض بعض ما قاله ستيفن هوكنج في النظرية الرياضية التي تعتبر أن أي نظرية تتبع لميكانيك الكم وللنظرية النسبية يجب أن تخضع للتماثل CPT والتي تعني أن الكون يسلك سلوكا متماثلا أذا استبدلت الجسيمات بضديداتها

(أي أذا استخدم العامل C وهو يمثل الضديد الشحني أو تصريف الشحنة charge conjugation) وتم أخذ صورة المرأة (باستخدام المؤثر P وهو يمثل التناظر parity) وهنا يعني أن صورة جسيم يبرم في اتجاه هي جسيم يبرم في الاتجاه الأخر) وتم أيضا عكس اتجاه الزمن (باستخدام المؤثر T وهو Time reversal invariant) ويعني عكس اتجاه الحركة للجسيمات فيعود إلى وضعة الأصلي في الأزمنة السابقة) هذا علما بأن البداية الكونية لا تخضع لتماثل هذا العامل الزمني T، حيث أذا أمتد الزمن للأمام فأن الكون سيتمدد وإذا أمتد الزمن للوراء فسوف يتقلص الكون، وبما أن هناك قوى لا تخضع لتماثل T إذا" فالكون يتمدد، وأن هذه القوى يمكن أن تسبب تحول ضديدات الالكترونات إلى كواركات أكثر من تحول الالكترونات إلى ضديدات الكواركات، وحيث أن الكون يتمدد ويبرد فأن ضديدات الكواركات تفنى مع الكواركات التي تقابلها وسيبقى الفائض القليل من الكواركات وهذه هي التي تؤلف المادة التي نراها الآن، وهكذا فأن الوجود الكوني الذي نحن عليه يمكن النظر إليه كإثبات للنظريات الموحدة العظمى أثباتا كيفيا فقط.

وقد ظهرت في الآونة الأخيرة نظرية سميت بنظرية الأوتار الفائقة (superstring theory) والتي يدور حولها جدل كبير ما بين ما معارض ومؤيد، وأهم ملامحها أن المادة الأساسية تتكون من أوتار دقيقة مهتزة أو بمعنى أخر

يتم تصوير الجسيمات الأساسية للمادة على أنها حلقات من أوتـار رنينيـه دقيقـة جدا بدلا من أن تكون على شكل نقط مادية، وهذه الأوتار التي تحدث الأنمـاط المختلفة للاهتزازات الرنينية هي التي تحدد ملامح الجسيم الـذي يتكـون مـن حيث كتلته وشحنته، فمثلا البروتونات تتكون مـن أوتـار غيـر مشـاهدة حيـث يتناهى الوتر في الصغر فيصل إلى أصغر من 10^{-20} من البروتون، وان الكون أيضا يتكون من جسيمات نقطية وتريـة - هـذا علمـا بـأن الأجهـزة المتـوافرة حاليـا بالرغم من دقتها وتقدمها إلا أنها لا تستطيع أن ترصد هذه الذبذبات الوترية.

وتتنبأ هذه النظرية ببعض التصـورات لأصـل الكـون وبدايـة الـزمن وعمـل تصور للأبعاد المتعددة للكون، فطبقا لهذه النظرية يتواجد الكون أصلا في عشرة أبعاد، أي أن الأبعاد التي تحدث فيها الاهتـزازات الرنينيـه السـابقة هـي عشـرة أبعاد أن لم تكن أكثر بدلا من الأربعة أبعاد (المعروفة الآن بالزمان إضافة البعـاد الثلاثة للمكان)، والأبعاد الزائدة عن الأربعـة تكمـن في 10^{-30} مـن السـنتيمتر، وهذا يتمثل في تخيلنا أننا تقدمنا في تكبير الأشياء عن طريق مجاهر حديثة يصـل تكبيرها إلى اكبر من ترليون مكعب من المرات حتى نسـتطيع أن نحـس بـذلك الأمر.

أن تفسير نظرية الأوتار الفائقة للحدث الكوني المفـرد والمسـمى بالانفجـار العظيم (Big Bang) على أنه جسـيم نـاتج مـن انفجـار أكبـر واشـد، حيـث

تفترض انشطار الكون ذي الأبعاد العشرة إلى شطرين، أحدهما كون صغير بأربعة أبعاد وهو الذي نلمسه في عالمنا المعروف، أما الأبعاد الأخرى المتبقية وهي الأكثر فهمي مكمونة كما تم تخيله، أنظر الشكل (13-3).

جدول(2-3): الجسيمات والجسيمات المتبادلة بين القوى

الجسيمات الأساسية
(من أصل المادة الكونية)

اللبتونات	الكواركات	الجسيمات المتبادلة
12 Leptons	36 Quarks	13 Mediators
$e, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$	كواركات ستة	يوجد ٨ جليون (ثمان وسيطات جليونية(غروية)) تكون بمثابة جسيمات تبادلية بين كل زوج من الكواركات التي يتكون منها الميزونات الثقيلة المستخدمة وهي الميزون رو ρ والميزون أيتا η والميزون فاي Φ (علما أن البايون كان الوسيط الوحيد قبل ذلك للقوة النووية بين البروتونات والنيوترونات)
$e^+, \nu_{e^+}, \mu^+, \nu_{\mu^+}, \tau^+, \nu_{\tau^+}$	u, d, s, c, b, t	الفوتون γ هو وسيط القوى الكهرومغناطيسية
وهي الأجيال الثلاثة	وأضدادها الستة	البزونات $Z^\pm, W^+$ والبوزونات المتعادلة منها هي وسيطات القوة الضعيفة.
اللبتونات الستة وأضدادها	u^-, d^-, s^-, c^-, b	البوزون هيجز (H) هو الوسيط الواحد الناتج من توحيد القوة تين

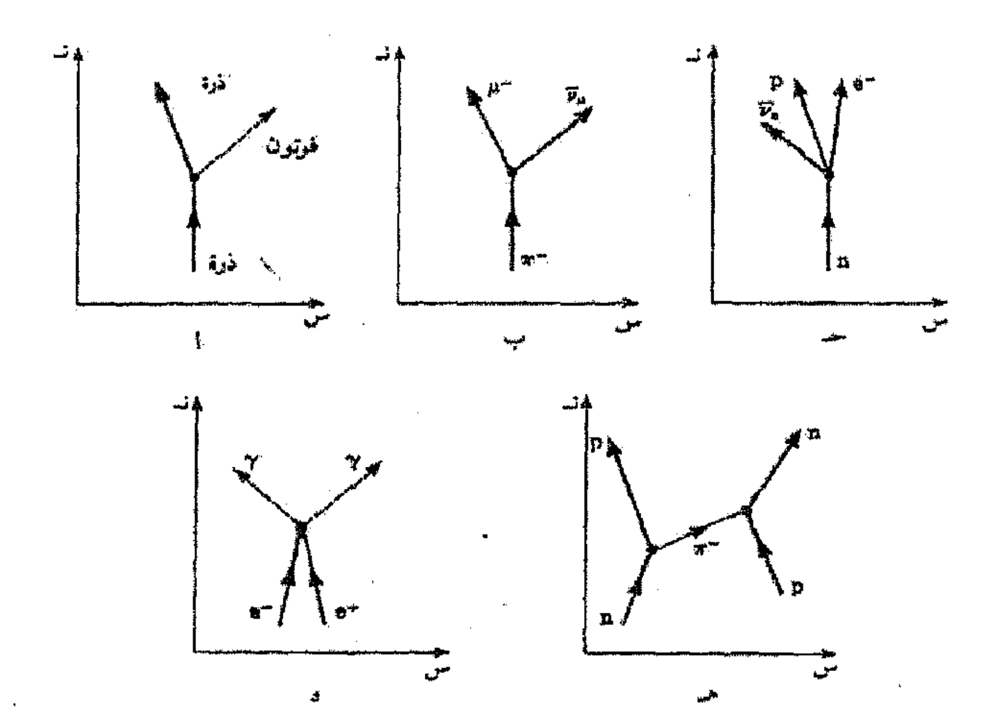
		الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة.
تكون كتلها كالآتي: MeV/c^2	يأتي كل نوع من هذه الكواركات وضديداتها (١٢ نوعا) في ثلاثة ألوان وبالتالي تأتي هذه في ٣٦ شكل بخصائص مميزة لها بياناتها كالآتي:	الكرافيتون (g) وسيط القوة الجاذبية الذي لم يلاحظ حتى الآن.
$\nu_e, \nu_{e^+} < 17MeV/c^2$	الكوارك السفلي d, d^- وضديده	
$\nu_\mu, \nu_{\mu^+} < 0.27MeV/c^2$	الكوارك العلوي u, u^- وضديده	
$\nu_\tau, \nu_{\tau^+} = 35MeV/c^2$	الكوارك الغريب s, s^- وضديده	
$e^\pm = 0.511MeV/c^2$	الكوارك الفاتن c, c^- وضديده	
$\mu^\pm = 105.658MeV/c^2$ $\tau^\pm = 1784MeV/c^2$	كوارك القاع b, b^- وضديده	
	كوارك القمة t, t^- وضديده	
	وطبقا لنظرية الالوان فأن كل كوارك يمكن أن يوجد في الألوان الثلاثة الآتية (الأحمر، والأخضر، والأزرق)	

الفصل الرابع

النظرة الزمكانية للتفاعلات - The Space Time View of Interactions

4-1 مخططات فاينمن Feynman Diagrams

أن حقيقة كون الإحداث الهامة في عالم الجسيمات أحداث خلق وفناء تحدث عند نقاط زمكانية مفردة، تجعل من المناسب والمفيد تصنيف تفاعل الجسيمات باستخدام مخططات الخطوط العالمية. وكما في الشكل (1-4).



الشكل (1-4) الخطوط العالمية لأحداث مختلفة في دنيا الجسيمات (أ) أنبعاث فوتون من ذرة (ب) أنحلال بايون (ج) أنحلال بيتا السالب (د) فناء بوزترون – الكترون (هـ) عملية تبادل بايون.

يبين المثال الأول عملية انبعاث فوتون من ذرة وفي البداية تكون الذرة ساكنة، وبناء عليه، فأنها تخط خطا رأسيا مستقيما. ثم تطلق بعد ذلك فوتونا يتجه نحو اليمين، بينما الذرة نفسها، نتيجة لإطلاقها الفوتون، ترتد وتتحرك بشكل أبطأ إلى اليسار. وكلما كانت حركة الجسيم أبطأ، كان خطه العالمي أقرب إلى الخط الرأسي.

فالخط العالمي الأفقي، الذي يناظر سرعة لا نهائية لا يمكن أن يمثل أي شئ فيزيائي والحد الأقصى لميلان الخطوط العالمية يمثله خط الفوتون، حيث يكون معكوس ميله مساويا لسرعة الضوء.

أما المخطط الثاني (ب) فيمثل انحلال البايون

$$\pi^- \rightarrow \nu_\mu^- + \mu^-$$

وعند نقطة معينة تمثلها النقطة الداكنة، ينعدم وجود البايون. ويتزامن فناءه مع خلق ميون سالب وضديد نيوترينو. ويبين ميل خطيهما العالميين أنهما ينطلقان متباعدين عن بعضهما بعضا. وبما أن ضديد النيوترينيو عديم الكتلة، فأن خطه العالمي يميل بزاوية تناظر سرعة الضوء.

والمخطط الثالث (ج) يبين انحلال بيتا السالب

$$n \rightarrow P + e^- + \nu_e^-$$

أما الحدث الحاسم في الزمكان هذه المرة فهو فناء جسيم واحد وخلق

ثلاثة جسيمات أخرى ويبين المخطط الذي يليه عملية فناء إلكترون وبوزترون لخلق فوتونين.

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$$

وأخيرا المخطط (هـ) عملية تبادل بايون سالب تسهم في القوة المتبادلة بين نيوترون وبروتون. وفي البداية (بدأ من أسفل المخطط)، يوجد بروتون ونيوترون، وهما يتبادلان بايونا ويتبادلان دوريهما، ويخرجان من العملية بسرعتين مختلفتين. وتمثل هذه العملية واحدة من عمليات التبادل العديدة الممكنة الحدوث.

وقبل أن ننتقل إلى السؤال عن صلة هذه المخططات بما يجري حقيقة على المستوى المجهري، يجب أثارة التحذير التي: من الممكن، بل من المحتمل حقا أن تكون بعض الإحداث المفردة المبينة بالنفط الداكنة في الواقع عبارة عن أنساق معقدة من أحداث تقع جميعها في مدى مكاني صغير جدا وفترة زمنية قصيرة جدا، بحيث تبدوا وكأنها أحداث تقع عند نقطة زمكانية مفرده واحدة. من المعروف، على سبيل المثال، أن عملية فناء الإلكترون - البوزترون لا تحدث تماما كما يصورها المخطط (د)، وأنما بالأحرى يخرج الفوتونان من نقطتين مختلفتين قليلا.

ويجب أن نكون مهيئين لإمكان أن يكشف لنا المستقبل عن بنية داخلية

لأحداث تبدوا في ظاهرها وكأنها أحداث بسيطة، وحتى لإمكان أن يكون ما نصفه الآن كأعمال فناء وخلق فجائية هو في الواقع نتيجة لجريان مستمر متدفق من الإحداث في مناطق من المكان والزمان أصغر مما أمكن لنا استقصاؤها حتى الآن. أن هذا مجرد تأمل . فعند النزول إلى أصغر المسافات 10^{-16} وأصغر الأزمان sec 10^{-24} التي قد قاسها الإنسان، فما تزال الإحداث الأولية في عالم الجسيمات تبدوا وكأنها أحداث فاجعة من خلق وفناء فجائيين لحزم طاقة المجال التي ندعوها بالجسيمات.

4-2 نظرية *TCP*

إن العلاقة بين المسارات المعكوسة في الزمن (time reversal) وضديدات الجسيمات وهي علاقة تعكس تماثلا زمكانيا" أساسيا في عالم الجسيمات الأولية، وقد وجدت تعبيرا لها في نظرية *TCP*، التي تدل حروفها الثلاثة على عمليات افتراضية : *T* عملية عكس الزمن time reversal ، *C* : عملية تصريف الشحنة (charge conjugation)، وهو الاسم الفني لعملية مبادلة الجسيمات بضداداتها، *P* : عملية تعاكس المكان (space inversion)، التي تكافئ تقريبا أخذ صورة في المرآة للمكان (وتدعى هذه أحيانا بعملية التبادل المكاني (parity). وفي الواقع، فان النظرية *TCP* هي مبدأ لا متغيريه (invariance principle) من نوع خاص. وقد تثبت في نهاية الأمر كقانون

تخضع له كل التفاعلات في الطبيعة. وهي تنص على أن ما ينتج عن تطبيق العمليات الثلاث T ، C ، P على أية عملية فيزياوية أخرى ممكنة الحدوث. وهذا الأمر ليس بالأمر المعقد كما يبدوا لأول وهلة، إذ من الممكن بسهوله إجراء العمليات الثلاث على أي مخططات فاينمان، فكل ما نحتاج إليه هو مرآة حائط وقليل من التخيل. لنعد أولا ـ إلى أية صفحة تحتوي على مخطط صحيح (proper) من مخططات فاينمان، تكون فيه رؤوس الأسهم الممثلة لضديدات الجسيمات متجهة نحو الأسفل. والآن، لأجراء العملية C، تخيل ببساطة أن جميع رؤوس الأسهم قد عكست ، فهذا العكس يبدل الجسيمات بضديداتها. (أن السهم الذي يشير إلى الخلف على خط الفوتون هو سهم مقبول، لأن الفوتون هو ضديد نفسه، وهي صفة يشترك فيها مع البايون المتعادل.) فالعملية C، على سبيل المثال، تحول عملية انحلال البايون السالب:

$$\bar{\nu}_\mu + \mu^- \leftarrow \pi^-$$

إلى عملية انحلال البايون الموجب:

$$\nu_\mu + \mu^+ \leftarrow \pi^+$$

نظرا لأن البايون الموجب هو ضديد البايون السالب.

ولأجراء العملية P، أي التعاكس المكاني، أدر صفحة الكتاب بعيدا عنك، وانظر إلى صورة المخطط في المرآة. فهذا يبدل اليسار باليمين. (وثمة تضمنات

أوسع لهذه العملية تتعلق ببرم الجسيم .

وأخيرا، أقلب الكتاب رأسا على عقب، وأنظر إلى المخطط المقلوب. ومن الواضح أن ذلك قد عكس اتجاه الزمن (العملية T)، إلا أنه أيضا قد عكس اتجاه رؤوس السهم (العملية C)، كما بدل بين اليمين واليسار (العملية P). ولذا، فأن المخطط المقلوب هو حصيلة تطبيق التحويلات الثلاثة: T ، C ، P على العملية الفيزيائية الأصلية. أن الصورة المقلوبة المتحصلة هي مخطط أخر من مخططات فاينمن يبين عملية واقعية ومسموحا بها فيزيائيا (أذا كانت النظرية TCP صحيحة). وعلى وجه العموم، فالعملية الناتجة سوف لا تكون هي العملية التي بدأت بها، وقد تكون مختلفة تماما ولكن، وفق النظرية TCP، لأن المخطط الأصلي يمثل عملية فيزياوية حقيقية، فأن المخطط المقلوب يمثل كذلك عملية فيزياوية.

ولمشاهدة أثر عملية عكس الزمان بمفردها، يجب إزالة أثر عكس رؤوس الأسهم وتعاكس اليسار - اليمين. أدر الكتاب رأسا على عقب، وأنظر إلى المخطط المقلوب في المرأة، وتخيل رؤوس الأسهم المعكوسة. أن المخطط الذي ينتج عن تنفيذ عن الإجراءات يوضح عملية عكس الزمن بمفردها. وبإمكانك تجريب توافيق أخرى. أن المنظر الذي تحصل عليه في المرأة مع عكس رؤوس الأسهم هو نتاج العملية المزدوجة CP. وهكذا.

لأحظ أن النظرية *TCP*، كغيرها من مبادئ اللامتغيرية وقوانين الحفظ هي قانون منع (prohibition law). فهي تنص على أن العمليات الممكنة الحدوث هي فقط تلك العمليات التي يكون معكوساتها (*TCP*) أيضا أحداثا فيزياوية حقيقية. وإذا كانت العملية الممثلة بالمخطط المعكوس بالعمليات الثلاث *TCP* غير مسموح بها، فأن العملية الأصلية تكون ممنوعة أيضا.

وفي الأجزاء الثلاثة الآتية، وسنتناول مبادئ اللامتغيرية المرتبطة بالعمليات *T* ،*C* ،*P*.

4-3 لا متغيرية عكس الزمن Time - reversal invariance

أن لا متغيرية عكس الزمن هي التي تحكم الطبيعة في المدى الصغير أما سهم الزمن arrow of time فهو المتمثل في الاتجاه المنفرد للزمن الواضح في شؤون حياتنا اليومية. وفي حالة الأنظمة المعقدة، فثمة اتجاه لتدفق الأحداث (وهو اتجاه تزايد الأنتروبي) يزيد احتماله كثيرا على الاتجاه المضاد (اتجاه تناقص الانتروبي) حتى أننا أصبحنا ندعو هذا الاتجاه للزمن بأنه اتجاه ممكن، وندعوه الاتجاه الأخر المضاد بأنه غير ممكن.

ولكي نبين تماثل الزمن الأساسي في الطبيعة، فأن علينا أن نفحص العمليات البسيطة المشتملة على عدد قليل من الجسيمات.

أن الأهمية الحقيقية لمفهوم لا متغيرية عكس الزمن هي أن قوانين الفيزياء

تظل على حالها، من دون تغيير عند أجراء عكس افتراضي لاتجاه الزمن. وتشكل الجملة السابقة محتوى الذي يؤكد مفهوم اللامتغيرية. ولإبراز القيد (constraint) الذي يفترضه هذا القانون، فعلينا أعادة صياغته بصورة مختلفة هي: أن الأشياء الممكنة الحدوث هي فقط تلك التي يمكن أن تحدث بترتيب معكوس، أو هي بشكل أكثر سلبا: أذا كانت العملية الناتجة عن العكس الزمني لعملية ما غير ممكنة، فأن العملية الأصلية نفسها يجب أن تكون مستحيلة.

وتجد لا متغيرية عكس الزمن أبسط تطبيقاتها في عالم الجسيمات، حيث يبدوا أنها تحكم التفاعلات القوية والكهرومغناطيسية وربما أيضا الضعيفة. في المخطط (د) عملية فناء زوجي الإلكترون - البوزترون أن العملية الناتجة عن العكس الزمني هي عملية خلق زوجي الإلكترون - البوزوترون نتيجة لتصادم الفوتونين. ووفق مبدأ لا متغيرية عكس الزمن، فأن العملية الناتجة عن العكس ليست ممكنة الحدوث، فحسب بل أنها قد تحدث بكامل التفاصيل كنسق مقلوب من أحداث التفاعل الأساسية. وبما أن شدة التفاعل عند كل رأس (vertex)، لا تتغير، فثمة نسبة عددية دقيقة يتضمنها قانون لا متغيرية عكس الزمن بين احتمال خلق زوجين (pair creation) واحتمال فناء زوجين (pair annihilation).

إن دور الاحتمال في الأحداث المعكوسة زمانيا الذي يظهر في غاية الوضوح

في دنيا الجسيمات الأولية. فعملية خلق بسيطة للبايون ، مثلا، يستحيل عكسها من ناحية عملية. فقد يتصادم بروتونان لإنتاج بروتون، ونيوترون وبايون موجب:

$$P+P \rightarrow n+P+\pi^{+}$$

أما العملية المعكوسة زمنيا فتتطلب التصادم المتزامن تقريبا لثلاث جسيمات، وهو أمر يكاد يستحيل تحقيقه عمليا. أن المتطلب بأن كل حدث أساسي قابل للعكس زمنيا هو بحد ذاته يؤثر في الصيغة الممكنة لتفاعل البايون - النيوكليون، لذا فأن أثرا هاما على العملية التي تجري في الاتجاه الأمامي للزمن (forward-in-time process)، سواء أكانت العملية المعكوسة زمنيا (time-reversed process) محتملة الحدوث أم غير ممكنة بالتجربة أم لم تكن. ويعد هذا مظهرا هاما لمبادئ اللامتغيرية ذا صلة بدورها المركزي المتزايد في الفيزياء. فقوانين الميكانيك التي تخضع لها حركة الكواكب تتحدد بشكل جزئي بشرط لا متغيرية عكس الزمن. ولذلك فأن المسار الفعلي لحركة الكواكب في السماء يفرضها جزئيا مبدأ لا متغيرية عكس الزمن، بالرغم من أن عملية إيقاف هذه الكواكب وقلب اتجاه حركتها هو أمر غير وارد على الإطلاق. وعلى نحو مماثل يمكن اختيار لا متغيرية عكس الزمن في التفاعلات ما بين الجسيمات حتى لو كانت دراسة العملية المعكوسة زمنينا أمر غير عملي.

4-4 لا متغيرية عكس المكان Space-Inversion invariance: Parity

أن مبدأ التعادلية المكانية، أو مبدأ لا متغيرية عكس المكان، ينص على وجود تماثل بين العالم (world) وصورته في المرأة وباستخدام تعابير أقرب إلى تلك التي استخدمناها لمبدأ لا متغيرية عكس الزمن نقول: أن صورة المرأة لأية عملية فيزيائية تصف عملية فيزيائية ممكنة، وهي محكومة بنفس القوانين العملية ذاتها.

ولا تبدوا كل صورة مرآة على أنها صورة عادية. فصورة المرأة لصفحة مطبوعة، مثلا، تبدو خاطئة، ولكن ليس هنالك ما يجعلها غير ممكنة. فعامل الطباعة قد يصمم حرفا معكوسا، وينتج صفحة طباعة، تكون، عند النظر إليها مباشرةً مشابهة لصور المرأة للصفحة العادية.

أن وضع منظر العالم المتعاكس (space inverted) يختلف كلية عن وضع منظره المعكوس زمنيا (time inverted). ذلك أن صورة المرأة للعالم تبدوا طبيعية، أجمالا، وتدفعنا بذلك لتصديق قانون حفظ التعادلية المكانية، أو ما يدعى بلا متغيرية عكس الزمن. وفي كلا الحالتين يبدوا أن الجسيمات قد خدعتنا. فقد ثبت أن مبدأ لا متغيرية عكس الزمن هو قانون مطلق، على ضوء ما نعرفه حتى الآن، في حين أن لا متغيرية تعاكس المكان قد تبين أنها قانون حفظ جزئي، لا تخضع له أبدا التفاعلات الضعيفة. وهذا يعني أن صورة المرأة لعملية

التفاعل الضعيف، كأنحلال بيتا، تظهر شيئا لا يمكن حدوثه. وقد تخلى حتى العلماء عن حذرهم العادي فصاروا يعتبرون حفظ التعادلية المكانية كقانون مطلق. وعندما تم التحقق، أثر اقتراح كلا من تسنح داو لي (Tsung Dao Lee) وتشن ننغ يانغ (Chen Ning Yang) في عام ١٩٥٦، من أن التفاعلات الضعيفة لا تملك تماثلا مرأتيا، فأن ذلك بمثابة صدمة للعلماء. وفي ذلك تذكرة لنا بأن أية نظرية لم تفحص بعد هي بمثابة بيت مبني على الرمال.

4-5 لا متغيرية تصريف الشحنة Charge-Conjugation invariance

يعرف تصريف الشحنة بعملية مبادلة الجسيمات بضديدلتها، أما الصلة بين تصريف الشحنة وكل من عكس الزمان وتعاكس المكان فينشأ من وصف ضديدات الجسيمات بأنها جسيمات تتحرك إلى الخلف في الزمن. وقد رافق الإطاحة بمبدأ حفظ التعادلية المكانية إطاحة أقل صيتا لمبدأ لا متغيرية تصريف الشحنة. أما الوضع الراهن لهذين المبدأين فهو كالآتي: أن التفاعلات النووية الضعيفة تخرق بشكل كبير لا متغيرية المكان (*P*) ولا متغيرية الشحنة (*C*) لكن ذلك يحدث بشكل يجعل اللامتغيرية المؤلفة منها (*PC*) تقريبا. ولا تعد لا متغيرية الزمن (*T*) صحيحة تقريبا على الأقل- وربما أطلاقا بالنسبة للتفاعلات الضعيفة. وبالنسبة إلى التفاعلات القوية والكهرومغناطيسية، والى القدر الذي نعرفه الآن، فأن اللامتغيريات الثلاث *P, C, T*، عند أخذ كل منها على

انفراد، هي قوانين صحيحة.

ويخرق النيوترينيو اليساري (الأيسر) الذي يخرق تعاكس المكان لا متغيرية تصريف الشحنة أيضا. لنعتبر انحلال البايون الموجب:

$$\pi^{+} \rightarrow \nu_{\mu L} + \mu_{L}$$

إن الرمز التحتي L يدل على أن النيوترينيو والميون الموجب ينطلقان ببرم أيسر (يساري). ونحن نعلم أن تأثير C في هذه العملية هو مبادلة الجسيمات بضديداتها، بينما ينحصر تأثير P في تحويل الحركة اليسرى إلى حركة يمنى (الرمز التحتي R يشير إلى ذلك). ولذلك نحصل على العمليات المحولة الآتية:

$C\pi^{-} \rightarrow \bar{\nu}_{\mu L} + \mu_{L}^{-}$: ، لا يحدث

$P\pi^{+} \rightarrow \nu_{\mu R} + \mu_{R}$: ، لا يحدث

$PC\pi^{-} \rightarrow \bar{\nu}_{\mu R} + \mu_{R}^{-}$: ، يحدث

أن تحويل C يؤدي إلى عملية مستحيلة (لم يسبق لها أن شوهدت) لأن هذا التحويل يحول النيوترينيو الأيسر الى ضديد النيوترينيو الأيسر، كما نعلم، كلها يمنى (يميني). ولذلك فأن هذا الانحلال الناتج عن تفاعل ضعيف يخرق اللامتغيرية C. وكذلك فأن تطبيق تحويل P على العملية الأصلية لانحلال البايون الموجب يحول النيوترينيو الأيسر إلى نيوترينيو أيمن، مؤديا بذلك مرة أخرى إلى عملية لم تسبق مشاهدتها. ولكن تأثير P وC معا يغير النيوترينيو الأيسر إلى ضديد نيوترينيو أيمن. أن

الانحلال الأخير في مجموعة الأنحلالات السابقة هو ما نشاهده في الواقع في عملية انحلال البايون السالب. ولذا فأن تطبيق PC على عملية فيزيائية ممكنة يؤدي إلى عملية أخرى هي أيضا ممكنة فيزيائيا. ومن خلال المثال السابق وعدد من الأمثلة الأخرى، فقد أمكن التحقق من أن التفاعلات وحتى التفاعلات الضعيفة اللامنضبطة منها لا تخرق اللامتغيرية المؤلفة من العمليتين P وC بشكل كبير. ولسوء الحظ الذي يتجلى عادة في الطبيعة، والذي يتوق الفيزيائي دوما إلى تحقيقه، فقد أظهر الانحلال الضعيف للكايون أن مبدأ اللامتغيرية المؤلفة PC هي صحيحة تقريبا، لا إطلاقا.

ولاستكمال صورة التحولات TPC، فأننا نذكر فيما يلي نتائج نوعين أحرين من العكس على عملية انحلال البايون.

$$TCP\pi^- \rightarrow \mu_R^- + \nu_{\mu R}^- :$$ ، نعم

$$T\pi^+ \rightarrow \nu_{\mu L} + \mu_R^- :$$ ، نعم

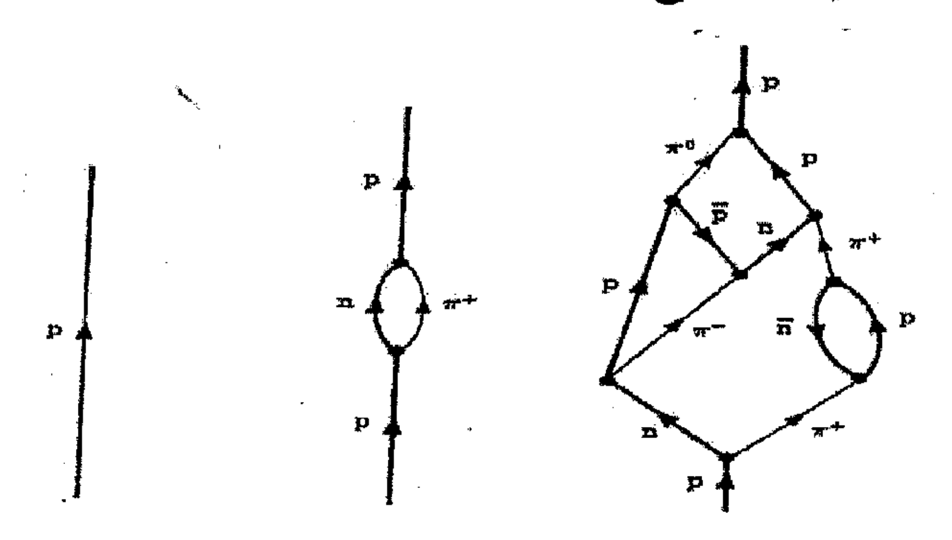
إن عملية عكس الزمن بمفردها تغير من ترتيب الأحداث في العملية الأصلية. أما عكس الثلاثة معا TPC، فتغير الأيسر إلى الأيمن، والجسيمات إلى ضديدات الجسيمات، والقبل إلى البعد. أن أيا من هذه التحويلات مكن الحدوث فيزيائيا بكل يقين تقريبا، إلا أنه لا يوجد أمل في اختيار أي منهما تجريبيا.

4-6 الفوضى دون المجهرية Submicroscopic Chaos

إن معظم مخططات فاينمان التي سبق عرضها في هذا الفصل تمثل تقريبا ما نشاهده في الواقع. ولكن قلة منها- وهي التي تشتمل على جسيمات تقديرية (virtual particles)، لا تمثل ما نشاهده فمثلا في الشكل (1-4) (ه)، مثلا يبين بايونا تقديريا يجري تبادله بين أثنين من النيوكليونات لأحداث قوة بينهما. أن الباحث الذي يقوم بالتجربة لا يرى سوى النيوكليونين، ولذا فان عليه أن نستنتج من سلوكهما بأن بايونا واحدا قد أنتقل خلال زمن يساوي تقريبا 10^{-23}sec، من أحد النيوكليونين إلى الأخر. وتظهر أيضا جسيمات تقديرية.

إن الجسيمات التقديرية تمثل دورا هاما ومثيرا على وجه الخصوص فيما يسمى بالتفاعل الذاتي (self-interaction). ويمكن تمثيل البروتون المفرد الذي يقع ساكنا وحيدا في الفضاء الحر، بالقدر الذي تكشف عنه الملاحظة الكبيرة، بخط عالمي رأسي (الشكل (2-4) (أ)) إلا أن الصورة على المستوى دون المجهري، مختلفة تماما. فالخرق المؤقت (transitory violation) لقانون حفظ الطاقة الذي يسمح به مبدأ عدم التحديد لهايزنبيرك يدخل تعقيدا غنيا إلى نمط الخطوط العالمية وحتى لجسيم مفرد. فيستطيع البروتون مثلا، أن يطلق بايونا وأن يمتصه ثانية الشكل (ب). أو حتى أنه يستطيع على مقياس زمني أقصر، أجهاد قانون حفظ الطاقة بقدر أكبر من الجسيمات التقديرية. ويبين

الشكل (ج) نسقا ممكنا من الأحداث، معقدا وغير متماثل أختلط فيه الحابل بالنابل (messy) كما يقول الفيزيائي- إلا أنه مع ذلك نسق واقعي. فبين الحين والحين يشترك كل بروتون برقصة الخلق والفناء هذه، ويخرج سالما معافى عند الطرف الأخر، ويحدث نفس الشيء خلال أي سلسلة أخرى معقدة من الإحداث تتوافق مع قوانين الحفظ الأخرى ومبدأ عدم التحديد لهايزنبيرك. وكما نعرف حاليا، فلا يسمح بخرق قانون حفظ الشحنة وقوانين حفظ العائلة الثلاثة ولو للحظة من الزمن. ولذلك فأن هذه القوانين تتحقق عند كل رأس في المخطط المبين في الشكل (ج).



الشكل (4-2) : مخططات فاينمان المرافقة لبروتون مفرد معزول

ويشتمل كل رأس في الشكل على خط باريون داخل (incoming)، وخط باريون خارج (outgoing) ، وخط بايون. وفي المجمل ، يشتمل الشكل (ج) على بروتونات، وضديدات بروتونات، وضديدات نيوترونات، وبايونات

موجبة، وسالبة، ومتعادلة.

وبما أن الجسيمات، حتى الجسيم المنفرد، تكون في حالة اضطراب مستمر كهذه، فقد نتساءل عن وضع أبسط من ذلك وهو وضع الفضاء الخالي البسيط (plain empty space). وتزودنا نظرية المجال (field theory) بجواب مفاده أن الفضاء الخالي هو أبسط ما يكون عن كونه خاليا تماما، إذ هو مكان يزخر بالحياة. ذلك أن خرق قانون حفظ الطاقة للحظات مؤقتة قصيرة جدا يسمح بتكوين الجسيمات من العدم، ثم بتلاشيها. ومخططات الفراغ التام (vacuum diagram) كما في الشكل (3-4) تبين بعض ما قد يحدث (ويحدث بالفعل) في الفضاء الحالي. وقد أطلق أسم الفراغ الفيزيائي (physical vacuum) على الفراغ المليء باستمرار بهؤلاء القادمين والمغادرين اللحظيين، تميزا له من الفراغ العاري (bare vacuum) اللاحقيقي. وعلى نحو مماثل، فأننا نطلق على الجسيم الافتراضي الخامل تماما في الشكل (2-4) -أ)) أسم الجسيم العاري (bare particle) تميزا له من الجسيم الفيزيائي (physical particle) الحقيقي، أو الجسيم المكسي (dressed particle) الذي يوجد أحيانا في حالات من النشاط كالمبينة في الشكل (2-4) – ب–ج)).

4-7 تبادل الفوتون والعمل الموضعي Photon Exchange and Local Action

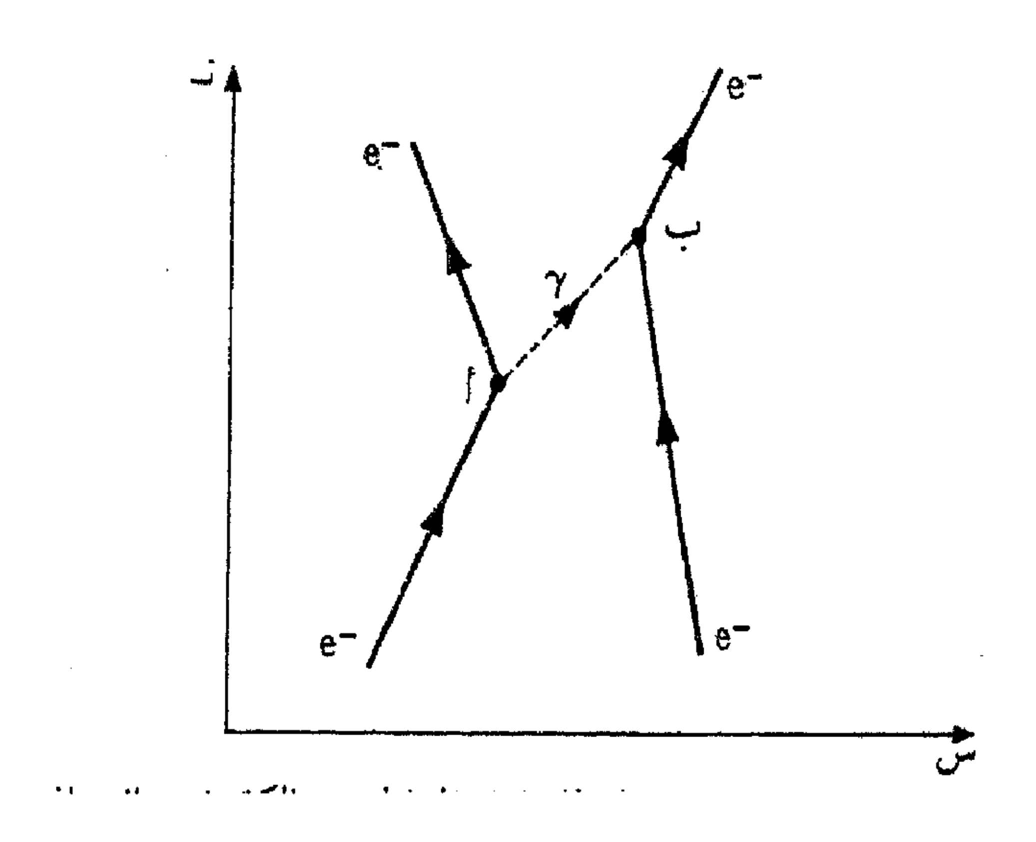
لنقارن هذه النظرة الجديدة إلى تفاعل الجسيمات بالنظرة الكلاسيكية .

فبموجب النظرة القديمة، يشعر الإلكترونان عندما يقتربان من بعضهما بعضا بقوة تنافر متبادلة بينهما، فينحرفان. أما النظرة الجديدة فتعزو القوة إلى عملية محددة من التبادل الفوتوني، ونستعيض عن فكرة التغير المتدفق المستمر بفكرة التغير الفجائي المتقطع. ويلاحظ في الشكل (3-4) إلكترونان يقتربان من بعضهما بعضا. وعند النقطة أ ، يطلق الإلكترون إلى اليسار فوتونا ويغير سرعته. وعند النقطة ب، يمتص الإلكترون إلى اليمين الفوتون ويغير سرعته. وبذلك فأن الإلكترونين قد تفاعلا أو أثرا بقوة في بعضهما بعضا، لأن حركتهما قد تغيرت. أما الفوتون فهو الذي يتوسط التفاعل بينهما. وبشكل أصح فأن التفاعل الأساسي لم يكن بين الإلكترونين على الإطلاق، بل كان بين كل من الإلكترونين والفوتون، ذلك أن الإلكترون الثاني لا يعلم بوجود الإلكترون الأول إلا بطريقة غير مباشرة . أن الفكرة القديمة : التأثير عن بعد (action at distance)، لقوة تمتد من جسيم إلى أخر، هي فكرة مهجورة تماما. ويستعاض عنها بفكرة التفاعل الموضعي (local interaction)، بحيث يتفاعل كل إلكترون موضعيا أي عند موقعه مع فوتون.

وبالطبع فأن المخطط الذي نعرضه هنا ما هو إلا واحد من العديد من المخططات . فالمخططات الأخرى تحتوي على تبادلات أعقد بين الإلكترونين. والمحصلة النهائية لجميع التبادلات الممكنة تقترب من حركة

الإلكترون الكلاسيكية في المناطق التي يصح فيها الوصف الكلاسيكي.

وبموجب النظرية الحالية لتفاعل الالكترونات والفوتونات فأن الشكل (4-3) هو صورة لما يحدث في الواقع على المقياس دون المجهري. ومثل هذا المخطط يدعى بمخطط فاينمن Feynman diagram نسبة إلى ريتشارد فاينمن الذي أثبت عام ١٩٤٩ أن هذه الصورة تناظر تماما العلاقات الرياضية في نظرية المجال (field theory) للالكترونات والفوتونات. ولذلك، فأن هذه المخططات تصور ما هو حادث بالفعل، وتزودنا بطريقة ملائمة لتصنيف العمليات المختلفة الممكنة من فناء وخلق وتبادل.



الشكل (3-4): مخطط الخطوط العالمية للتفاعل المتبادل بين إلكترونين وانحرافهما الناتج عنه

الفصل الخامس

الإشعاع الكوني Cosmic Rays

الأشعة الكونية هي جسيمات أغلبيتها العظمى مشحونة ترد إلى الأرض من مختلف أنحاء الفضاء بطيف طاقي عريض جدا يصل إلى غاية 10^{12}GeV تتكون بشكل أساسي من البروتونات بنسبة 89 % ونوى الهليوم بنسبة 10 % و بنسب ضئيلة جدا نوى باقي عناصر الجدول الدوري إضافة إلى فوتونات أشعة كاما وفوتونات أشعة أكس وكذلك بعض الجسيمات الأخرى كالالكترونات والبوزترونات . اكتشفت الأشعة الكونية سنة 1912 من قبل الفيزيائي النمساوي Hess ، أما اسم" الأشعة الكونية " فقد أطلقه عليها الفيزيائي ميليكان سنة 1925 وذلك بعدما تأكد من أن مصدرها خارجي .

عندما تقترب الأشعة الكونية من الأرض، أي عندما تصبح على مسافة قدرها حوالي 10 أضعاف نصف قطر الأرض تصبح عمليا تحت تأثير المجال المغناطيسي الأرضي . يقوم المجال المغناطيسي الأرضي بمنع الأشعة الكونية وخصوصا الجسيمات ضعيفة الطاقة (الأقل من 10 GeV) من بلوغ سطح الأرض حيث يعيدها إلى مناطق أخرى من الفضاء، أما الجسيمات عالية الطاقة فان بلوغها سطح الأرض يتوقف على موقع و اتجاه دخولها الأرض، تسمى هذه الظاهرة بالقطع المغناطيسي (geomagnetic cut-off) .

نتيجة للقطع المغناطيسي يتناقص فيض الأشعة الكونية التي تبلغ سطح الأرض مقارنة بالفيض الأصلي ويتوقف مقدار التناقص في الفيض بشكل أساسي على الموقع بالنسبة لخط الاستواء، حيث يكون التناقص في الفيض كبيرا في المناطق الاستوائية ويقل كلما اتجهنا نحو القطبين أي يكون التناقص معدوما تقريبا.

تمت دراسة حركة الجسيمات المشحونة في المجال المغناطيسي الأرضي أول مرة سنة 1911 (قبل اكتشاف الأشعة الكونية) من قبل الفيزيائي ستورمر Stormer ، واستمرت حتى سنة 1935، اعتبر ستورمر في تلك الدراسة أن مجال الأرض المغناطيسي هو مجال ثنائي قطب مغناطيسي وبحله لمعادلات الحركة (معادلة لورنتز) اثبت انه هناك مناطق مسموحة حركيا و أخرى محضورة لا يمكن للجسيمات المشحونة أن تتحرك فيها كما اثبت أيضا انه هناك حد أدنى من الطاقة يجب أن تمتلكه الجسيمات المشحونة كي تستطيع بلوغ سطح الأرض (أو أي نقطة من المجال المغناطيسي) ، تسمى هذه القيمة قيمة القطع المغناطيسي . و قد حدد ستورمر شكل المناطق الحركية كما حدد أيضا قيم القطع المغناطيسي.

لم يكن عمل ستورمر كافيا لشرح تأثير المجال المغناطيسي الأرضي على الأشعة الكونية لسببين، فمن جهة كانت تعوزه الدقة لان المجال المغناطيسي

الأرضي ليس مجالا بسيطا وأن نموذج ثنائي القطب المغناطيسي يستحق بعض التصحيحات كما أن الطريقة التحليلية لا يمكنها أن تظهر تأثير ظاهرة القطع المغناطيسي على فيض الأشعة الكونية.

5-1 اكتشاف الأشعة الكونية

في نهاية القرن الثامن عشر لاحظ الفيزيائي الفرنسي شارل كولوم (Coloumb) انه عند تعليق كرة مشحونة كهربائيا في الهواء، فان الكرة تفقد شحنتها مع مرور الوقت، لم يتمكن كولوم من تقديم تفسير للظاهرة، وكانت تلك هي المرة الأولى التي تشاهد فيها آثارا تعزى للأشعة الكونية . بعد مرور حوالي مئة عام، و باستخدام وسائل أكثر تقدما، أعاد الفيزيائي البريطاني ويلسون (Willson) تجربة كولوم وذلك لإثبات توصيلية الهواء للكهرباء أعاد تلك التجارب كل من ايلستر (Elster) و جيتل (Geitel) تم تفسير توصيلية الهواء بوجود إشعاع مؤين في الغلاف الجوي لكن أصل هذا الإشعاع لم يكن واضحا.

شهدت تلك الحقبة (1895-1900) اكتشاف النشاط الإشعاعي الطبيعي، ففي عام 1895 أكتشف (Rontgen) رونتجن الأشعة السينية وفي السنة التالية لاحظ بيكرل (Becquerel) أن أملاح اليورانيوم تصدر إشعاعا له القدرة على تأين الهواء، دون أن يحدد طبيعتها، بعد سنتين تمكن رذرفورد (Rutherford)

من تحديد طبيعة اثنتين من تلك الإشعاعات وأطلق عليهما إشعاع ألفا وإشعاع بيتا، عام 1900 حدد الفرنسي فيلادر (Villared) طبيعة الإشعاع الأخير وأطلق عليه إشعاع كاما. بعد هذه الاكتشافات أصبح السؤال المطروح هو : هل للنشاط الإشعاعي الطبيعي علاقة بالتوصيلية الهوائية بعد هذه الاكتشافات أصبح أم أنها تعود لإشعاع خارجي أم للهواء نفسه.

بين رذرفورد (Rutherford) أن الإشعاع المؤين يأتي من خارج الجهاز، حيث لاحظ انه بوضع هذا الأخير داخل صندوق من الرصاص، فان سرعة تفريغ الشحنة الكهربائية تقل كلما زاد سمك جوانب الصندوق.

من اجل تبيان تأثير النشاط الإشعاعي الطبيعي على التجربة، قام وولف (Wulf) سنة 1910 بإعادة التجربة من أعلى برج أيفل (200 m) فلاحظ استمرار حدوث التفريغ الكهربائي لكن بسرعة أقل.

باستخدام المنطاد قام الفيزيائي النمساوي هاس (Hess) بإجراء تجاربه حول التفريغ الكهربائي على ارتفاعات مختلفة حتى بلغ سنة 1913 ارتفاعا قدره 9 كيلومتر، فوجد أن سرعة التفريغ تزداد مع الارتفاع فخلص بذلك إلى إن مصدر الإشعاع المؤين المسبب للتفريغ الكهربائي يقع في الفضاء الخارجي.

بعد أعمال هاس وتجارب أخرى عديدة (أجريت تحت الماء و في

الأنفاق) والتي رجحت كلها فرضية المصدر الخارجي، أطلق ميلكان (Millikan)على النوع الجديد من الإشعاع اسم الأشعة الكونية.

بعدما حصل الإجماع على الأشعة الكونية، أدت التجارب التي أنجزها ريجنر (Régner) وبعده فوتزر (Pfotzer) إلى إثارة الشكوك من جديد. استخدم فوتزر عداد كايكر- ميلر (Geiger-Muller) لقياس شدة الإشعاع المؤين على ارتفاعات مختلفة فوجد أنها تزداد مع الارتفاع إلى أن تأخذ قيمة عظمى على ارتفاع 15 كيلومتر، ثم تبدأ بالتناقص

بدا الأمر وكان مصدر الإشعاع يقع على ارتفاع 15 كيلومتر، وبالرغم من الشكوك التي أثارتها هذه النتائج إلا أنها أدت في النهاية إلى تأكيد فرضية المصدر الخارجي، فقد سمحت هذه النتائج بالتمييز بين الجسيمات الابتدائية (الفيض الابتدائي) الآتي من خارج الغلاف الجوي والجسيمات الثانوية (الفيض الثانوي) الناتجة عن تصادم الأولى مع الغلاف الجوي و تأكيد تأثير الخمود نتيجة الانتشار في الغلاف الجوي.

سنة 1933 وأثناء رصده للآثار التي تتركها الأشعة الكونية في غرفة الغيوم (cloud chamber) اكتشف أندرسون (Anderson) جسيما جديدا له نفس كتلة الإلكترون و يحمل شحنة موجبة، مثل هذا الاكتشاف إثباتا لنظرية ديراك (Dirac) عن وجود المادة المضادة سمي هذا الجسيم البوزترون.

سنة 1935 و نتيجة لأعماله التي تمثلت في قياس اختراق الأشعة الكونية لطبقات مختلفة السمك من الرصاص خلص روس (Rossi) إلى أن الأشعة الكونية تحتوي مركبتين، إحداهما خفيفة (soft) ضعيفة الاختراق (أغلبيتها الكترونات) والأخرى قاسية (hard) ولها قدرة كبيرة على الاختراق (أغلبيتها بروتونات).

سنة 1937، و باستخدام غرفة الغيوم اكتشف كل من أندرسون و نيدرماير (Neddermeyer) الميون السالب. وفي سنة 1938 قام أوكر (Auger) بوضع عدادين من نوع كايكر- ميلر على مرتفعات جبال الألب تفصل بينهما مسافة قدرها 300 متر، فلاحظ أنهما يرصدان جسيمات في نفس الوقت، ففسر ذلك بتساقط عدد كبير من الجسيمات على شكل حزم عريضة، تمثل هذه الجسيمات نتيجة تصادم جسيمات ابتدائية ذات طاقات عالية بجزيئات الغلاف الجوي، سميت تلك الحزم الجسيمية بالزخات الهوائية (air showers) و قد قدر اوكر طاقتها آنذاك بحوالي 10^{15}eV.

في نفس الفترة قدم ستورمر (Stormer) نظريته حول تأثير المجال المغناطيسي الأرضي على الأشعة وبين انه يلزم لكل جسيم حد أدنى من الطاقة كي يتمكن من اختراق المجال المغناطيسي الأرضي وبلوغ الأرض.

في سنة 1948 اثبت كل من جوتليب (Gottlieb) وألن (Allen) أن الأشعة

الكونية تتشكل من البروتونات، نوى الهليوم ونوى أخرى أثقل. سنة 1949 وضع فيرمي نظرية التصادمات الموجية (shock waves) كآلية لتسريع جسيمات الأشعة الكونية.

ومن كل الدراسات أعلاه تبين بأن الأشعة الكونية هي:

عبارة عن جسيمات ألفا (نوى ذرات الهليوم)، وجسيمات بيتا (الالكترونات، البوزترونات)، ومصطلح الأشعة الكونية هو استخدام شائع ولكنة خاطئ، حيث أن الأشعة الكونية هي جسيمات تصل بشكل منفرد وليس على شكل أشعة.

تأتي إلينا الأشعة الكونية من خارج النظام الشمسي وهي تملئ الكون كله. وتكون عادة على عدة أشكالأبدءا من الجسيمات الثقيلة وانتهاء بالفوتونات ذات الطاقة العالية. تتفاعل الذرات المكونة لطبقات الجو العليا مع العديد من الإشعاعات الكونية مولدة نوى جديدة مشعة. ومع أنه بالإمكان أن يكون للمواد المشعة الناتجة أعمار نصف طويلة جدا من الناحية النظرية، إلا أن غالبية هذه النوى ذات أعمار نصف تقل كثيرا عن أعمار النوى الأصلية. ومن هذه النوى المشعة هي:

$^{10}Be, ^{14}C, ^{26}Al, ^{36}Cl, ^{80}Kr, ^{32}Si, ^{39}Ar, ^{22}Na, ^{35}S, ^{37}Ar, ^{33}P, ^{28}Mg, ^{31}Si, ^{18}F, ^{39}Cl, 38Cl$

تنشأ معظم هذه الأشعة كما أشرنا سابقا من أماكن بعيدة في الفضاء

الخارجي. وينطلق بعضها من الشمس أثناء التوهجات الشمسية. تتعرض الأرض لهذه الأشعة التي تتفاعل مع الغلاف الجوي لتنتج أنواعا من الإشعاع ومواد مشعة مختلفة. وفي العادة تسمى الأشعة الكونية قبل تفاعلها مع الغلاف الجوي بالأشعة الأولية وتسمى بعد تفاعلها بالأشعة الثانوية.

5-2 الأشعة الكونية الأولية primary cosmic ray

يتعرض الإشعاع الكوني بعد مغادرته لمصدره و انتشاره في الفضاء إلى بعض التغيرات التي تمس بنيته وسرعتها وذلك نتيجة مروره عبر المجالات المغناطيسية وكذلك الغازات المنتشرة في الفضاء عندما يقترب هذا الإشعاع من الأرض، يتعرض إلى تحويرات أخرى من قبل الرياح الشمسية، حيث تقوم هذه الأخيرة بإبطاء الجسيمات منخفضة الطاقة وإقصاء جزءا منها، وعليه فان كثافة الجسيمات منخفضة الطاقة (الأقل من 10 GeV) هي على علاقة وطيدة بالنشاط الشمسي. يسمى الإشعاع الحاصل بلوغه الطبقة العليا للغلاف الجوي وقبل دخوله في أي تفاعل معه بالأشعة الكونية الابتدائية.

تتضمن الأشعة الكونية الابتدائية كل الجسيمات المستقرة وكذلك كل نوى العناصر الموجودة الجدول الدوري، ابتداء من نواة الهيدروجين (البروتونات) وصولا إلى اليورانيوم، وكل العناصر الموجودة في الأشعة الكونية هي نفسها الموجودة في النظام الشمسي، هنالك اختلاف فقط في نسب وجود بعض

العناصر مثل الليثيوم والبريليوم والبورون وبعض العناصر الأخف من الحديد تتواجد بنسبة اكبر في الأشعة الكونية .

5-2-1 طيف الطاقة للأشعة الكونية الأولية

تشكل سلسلة الطاقة لجسيمات الأشعة الكونية الابتدائية طيفا طاقيا عريضا جدا. إذ تمتد الطاقات المقاسة لهذه الجسيمات من 10^8 eV ولغاية 10^{21} eV . نعبر عن طيف الطاقة للأشعة الكونية بواسطة الفيض التفاضلي (هو عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة بين E و $E+dE$) أو بواسطة الفيض التكاملي وهو عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة مقدارها E. توجد عدة طرق لقياس الفيض التكاملي وأهمها ما يأتي:

* عدد النوى بدلالة الطاقة الكلية E_0 يناسب هذا التعريف التجارب التي لا تميز ولا تكشف
طبيعة الجسيمات الابتدائية.

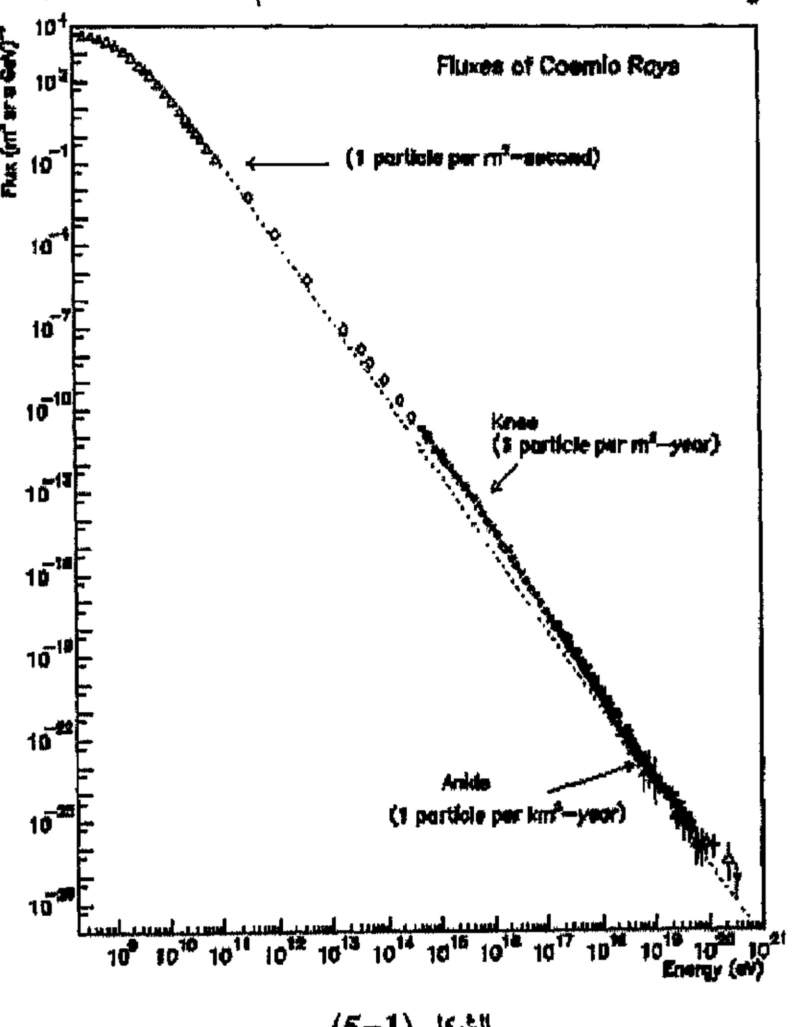
* عدد الجسيمات (النوى) بدلالة الطاقة لكل نوكليون (E_0/A)، حيث أن A العدد الكتلي، تحفظ التفاعلات النووية تقريبا النسبة E_0/A لذلك يناسب هذا التعريف دراسة التفاعلات مع الوسط البين- نجمي (inter-stellar).

* عدد النيوكليونات بدلالة الطاقة لكل نيوكليون E_0/A ، تتفاعل النوى ذات العدد الكتلي A والطاقة E_0 كأنها حزمة من A نيوكليون مستقل بطاقة E_0/A ،

وعليه فان هذه الطريقة مناسبة لتتبع إنتاج الجسيمات الثانوية كالميونات في الغلاف الجوي الأرضي أو النيوترينات في الغلاف ألنجمي.

* عدد الجسيمات بدلالة الصلادة المغناطيسية (rigidity)، يناسب دراسة انحباس وتسريع الأشعة الكونية عندما تتفاعل مع المجالات المغناطيسية (مستقرة أو متغيرة).

يتميز مخطط الطيف التفاضلي للطاقة بالانتظام الشبه تام لاحظ الشكل-5) (1وخصوصا في المجال (10^{10}-10^{19}eV) ينقسم هذا المجال إلى قسمين:



الشكل (1-5)

الطيف الطاقي التفاضلي للأشعة الكونية الابتدائية.

* القسم الأول و يشمل هذا القسم المجال الطاقي (10^{10} - $4x10^{15}$eV)، في هذا المجال يتغير الفيض التفاضلي مع الطاقة وفق الصيغة الآتية:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-2.7} \quad \text{..................................}(5-1)$$

جسيمات هذا المجال هي ذات أصل سماوي (عمليات السوبرنوفا supernova والنجوم النيوترونية neutron stars)، لان التفاعل بين الجسيمات منخفضة الطاقة وتلك المتبقية من الانفجار الأعظم يفسر تماما المعادلة السابقة، نظرا لكون التدفق ذو قيمة معتبرة فان رصد جسيمات هذا النطاق ممكن بواسطة الأقمار الصناعية والبالونات.

* القسم الثاني ويشمل المجال الطاقي من (10^{16}-10^{18} eV)، في هذا المجال يتغير التدفق التفاضلي مع الطاقة وفق المعادلة الآتية:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-3.2} \quad \text{..................................}(5-2)$$

من ناحية الطاقة لا يوجد أي جرم سماوي (مجرات) له القدرة على إصدار هكذا جسيمات ولذلك فان مصدر جسيمات هذه المنطقة يقع خارج مجرتنا(التصادمات بين المجرات وكذلك المجرات ذات النوى النشطة).

تسمى المنطقة التي تربط بين هذين القسمين والتي تشغل المجال ($4x10^{15}$-10^{16} eV) الركبة (knee)، في هذا المجال يتناقص الفيض التفاضلي بشكل أسرع حيث يتناسب مع الطاقة تقريبا وفق العلاقة :

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-3} \quad (5-3)$$

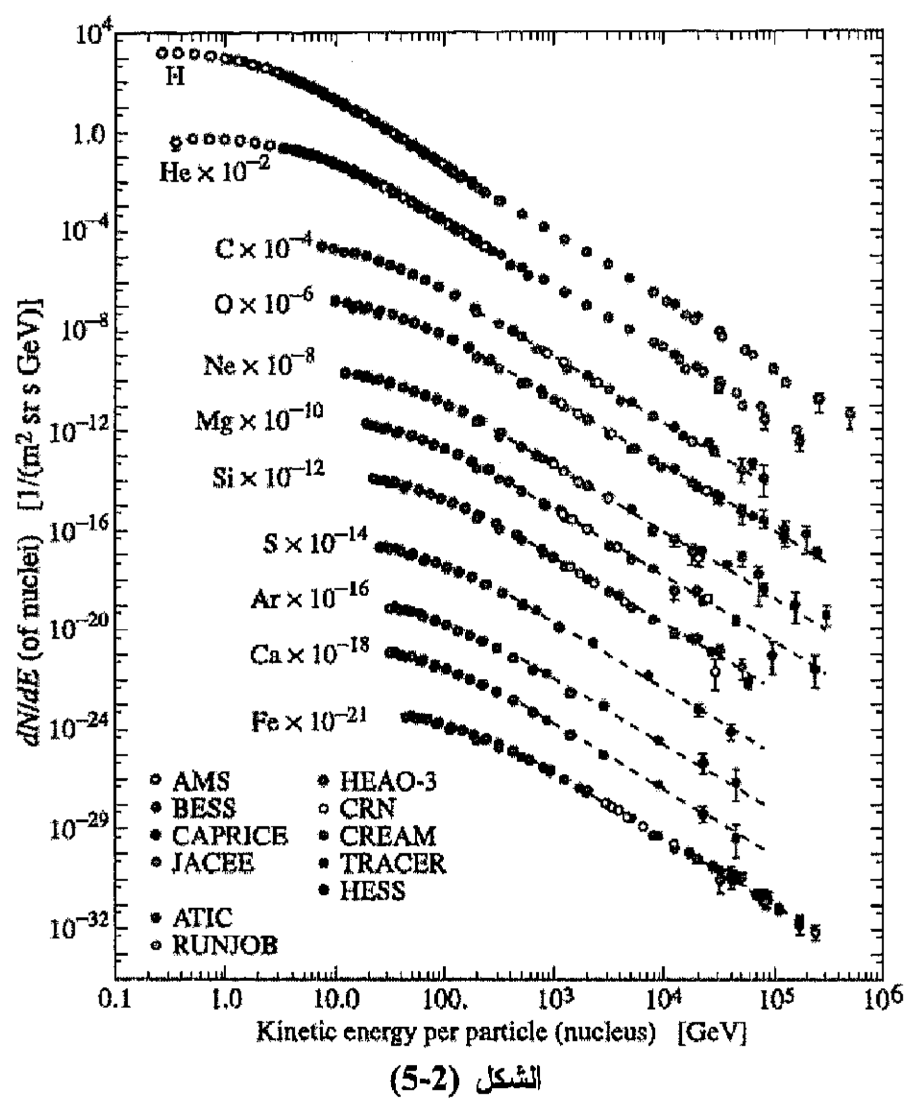
يقدر الفيض في هذا المجال بحوالي جسيم واحد لكل متر مربع في السنة، ويمكن إرجاع ذلك إلى احتجاز جسيمات هذا المجال من قبل المجرة (قطع مغناطيسي) كما يمكن إرجاعه إلى التفاعل مع المادة المظلمة (dark matter).

بينت بعض التجارب أن الطاقة في هذا المجال تتناسب مع الشحنة، وأن البنية المادية له تتشكل من النوى الخفيفة (البروتونات وجسيمات ألفا) كما في الشكل (2-5).

بالنسبة للجزء المتبقي من مجمل مخطط الطيف الطاقي التفاضلي نجد المجال الأول الذي يشمل الطاقات 10GeV. بالنسبة للجزء المتبقي من مجمل مخطط الطيف الطاقي التفاضلي نجد المجال الأول الذي يشمل الطاقات الناتجة عن الاندماج النووي الحراري.

المجال الأخير ويشمل الطاقات الأعلى من $5x10^{18}$ إلكترون فولت، في هذا المجال يتغير الفيض التفاضلي حيث تقل سرعة التناقص على عكس ما

يحدث عند الركبة. عدد الجسيمات الواردة بالنسبة لهذا المجال قليل جدا إذ يقدر بجسيم واحد لكل كيلو متر مربع خلال سنة كاملة إن هذه الندرة لا تمكن حتى من رسم مخطط.



الشكل (5-2)

البنية المادية للطيف الطاقي التفاضلي للأشعة الكونية الابتدائية.

5-3 الأشعة الكونية الثانوية Secondary Cosmic Rays

وهي الأشعة الناتجة بعد تفاعل الأشعة الكونية الأولية مع مكونات الغلاف

الجوي المعروفة وتتألف من مكونات خفيفة مثل الالكترونات والفوتونات والميزونات ومكونات ثقيلة مثل النيوترونات والبروتونات ومختلف الأيونات.

وبصورة عامة يقل تركيز الأشعة الكونية الأولية مع الاقتراب من سطح الأرض بينما يزداد تركيزها (تركيز الأشعة الكونية الثانوية) كلما اقتربنا من سطح الأرض. وفي النتيجة تكون المركبات السائدة من خليط هذه الأشعة وعلى ارتفاعات مختلفة وكما مبين في أدناه:

* على ارتفاع ٢٠ كيلو متر فأقل تكون الأشعة الكونية ثانوية فقط.

* على ارتفاع ٥٠ كيلو متر فأكثر تكون الأشعة الكونية أولية فقط.

بين هذين الارتفاعين تكون الأشعة الكونية خليطا من الأشعة الولية والثانوية.

إن الأشعة الكونية التي تفوق طاقتها 10^{20} eV تضرب جو الأرض بمعدل جسيم واحد تقريبا لكل كيلو متر مربع في العام. ويترتب على هذا الأساس تتطلب دراستها مكشافا ضخما جدا للوابلات الهوائية. وفضلا على حادث عام 1991 في يوتا، فقد رصدت جسيمات تتعدى طاقتها 10^{20} eV من قبل مجموعات في أماكن أخرى، في الولايات المتحدة وأكينوا في اليابان وهافيرا بارك في المملكة المتحدة وياكوتسك في سيبيريا.

وتثير الجسيمات التي لها مثل هذه الطاقة العالية مشكلة تدعو إلى الحيرة. فمن ناحية، فأنه يحتمل ورودها من خارج مجرتنا وذلك بسبب عدم وجود آلية تسريع معروفة يمكنها أن تولدها، ولأنها تقترب من جميع الاتجاهات دون أن يكون لها مجال مغناطيسي كافيا لثنيها عن مسارها. ومن ناحية أخرى، فأن مصدرها لا يمكن أن يبتعد عنا أكثر من قرابة 30 مليون سنة ضوئية، لأنه إذا لم يتحقق ذلك فقدت الجسيمات طاقة بتفاعلها مع الخلفية الإشعاعية (الأشعة الخلفية للمايكرويف microwave background) الكونية. وهي الإشعاع الذي تخلف عن نشوء الكون نتيجة الانفجار الأعظم. ففي الكون النسبوي (relativistic universe) الذي تقطنه الأشعة الكونية العالية الطاقة فان فوتون واحد ذو تردد راديوي (radio frequency) يمكن أن يكون له من قوة التأثير بحيث يسلب جسيما الكثير من طاقته.

أهم الجسيمات التي تشكل البنية المادية للأشعة الكونية الثانوية هي:

الميونات Mouns

تشكل الميونات المركبة الأساسية الأكثر تواجدا للأشعة الكونية الثانوية بالقرب من مستوى سطح البحر وتحت سطح الأرض يتم إنتاج الميونات في الغلاف الجوي على ارتفاع حوالي 15 كيلومتر وتفقد حوالي 2 GeV من طاقتها في عمليات تأين الهواء قبل أن تبلغ سطح الأرض بطاقة متوسطها 4 GeV.

يتأثر الطيف الطاقي للميونات وتدفقها بالنشاط الشمسي والمجال المغناطيسي الأرضي والفقد الراجع إلى عمليات تأين الهواء. فمثلا الميونات التي تساوي طاقتها 2.4 GeV تستطيع أن تقطع مسافة 15 كيلومتر قبل أن تتفكك لكنها في الواقع لا تقطع سوى مسافة 8.7 كيلومتر نتيجة ما تفقده من طاقة في عمليات تايين الهواء . كما أن تدفق الميونات التي طاقتها 1 GeV ينخفض بمعدل 10% تحت تأثير النشاط الشمسي للمجال المغناطيسي الأرضي . يقدر التدفق التكاملي العمودي للميونات عند الطاقات الأعلى 1 GeV/c عند مستوى البحر $70\ m^{-2}\ s^{-1} sr^{-1}$ بينما تعطي القياسات الحديثة قيمة اقل بمقدار (10%-15%) .

المركبة الكهرومغناطيسية

قسم من هذه المركبة الالكترونات، البوزترونات والفوتونات هو من بقايا الأشعة الكونية الابتدائية والقسم الأخر ينشا ضمن الزخات الهوائية نتيجة تفكك الميزونات (misons) المتعادلة والمشحونة. يشكل تفكك الميونات المصدر الرئيسي للالكترونات منخفضة الطاقة عند مستوى سطح البحر، بينما يشكل تفكك البايونات المتعادلة المصدر الأكثر أهمية في الأماكن المرتفعة. تساهم أيضا عمليات القرع (knock-on) وبنسبة ضئيلة في إنتاج الالكترونات منخفضة الطاقة يقدر الفيض التكاملي العمودي للالكترونات

والبوزترونات معا عند مستوى سطح البحر بحوالي $(0.2\text{-}6\text{-}30)\ m^{-2}\ s^{-1} sr^{-1}$ عند الطاقات MeV (10-100-1000) على التوالي أما القيمة الدقيقة فهي ترتبط بحساسية كبيرة بالارتفاع نسبة الفوتونات إلى الالكترونات والبوزترونات معا هي تقريبا 1.3 عند الطاقات الأعلى من 1 GeV و 1.7 عند الطاقات الأقل من الطاقة الحرجة.

النوى الثقيلة Heavy Nuclei

تختفي النوى الثقيلة بشكل كلي في الطبقات العليا للغلاف الجوي لأنها عندما تتفاعل مع جزيئات الهواء تنشطر معطية نوى اخف، كما أن النوى تفقد طاقتها بمعدل كبير في عمليات تأين الهواء حيث يتناسب معدل فقدان الطاقة مع الشحنة $\left[-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} \propto Z\right]$ وعليه فان النوى الثقيلة لا يمكنها بلوغ سطح الأرض.

النيوكليونات Nucleons

يتم إنتاج النيوترونات في الغلاف الجوي نتيجة التفاعلات بين الهادرونات والبروتونات عالية الطاقة مع النوى، تمتلك النيوترونات المنتجة طاقة تتراوح مابين $10^3 eV$ أو 500 MeV يتناقص عدد النيوترونات أثناء انتشارها في الغلاف الجوي نتيجة التفاعلات القوية مع النوى وفق العلاقة الآتية:

$$N(X) = N_0 \exp(-X/\Lambda) \quad \text{.........} (5-4)$$

حيث يأخذ معامل الخمود الخطي Λ $155\ gm/cm^2$ في الغلاف الجوي. يتناقص عدد البروتونات أيضا أثناء انتشارها في الغلاف الجوي وفق نفس العلاقة السابقة، ويصبح الفيض التكاملي العمودي عند مستوى سطح البحر بالنسبة للطاقات الأعلى من 1 GeV/c بالتقريب $0.9\ m^{-2}\ s^{-1}sr^{-1}$، أما بالنسبة للنيوترونات فهو نصف هذه القيمة.

النيوترينات Neutrinos

تتواجد في الغلاف الجوي كل من النيوترينات الابتدائية والثانوية، تنشا النيوترينات الثانوية عن تفكك الجسيمات الغير مستقرة كالميونات، البيونات والكايونات وتشكل النيوترينات الميونية المركبة الأساسية يقدر تدفق النيوترينات عند مستوى سطح البحر بالنسبة للطاقات الأكبر من 1 GeV/c بحوالي $2x10^6\ m^{-2}\ s^{-1}sr^{-1}$.

5-4 الزخات الهوائية Air Showers

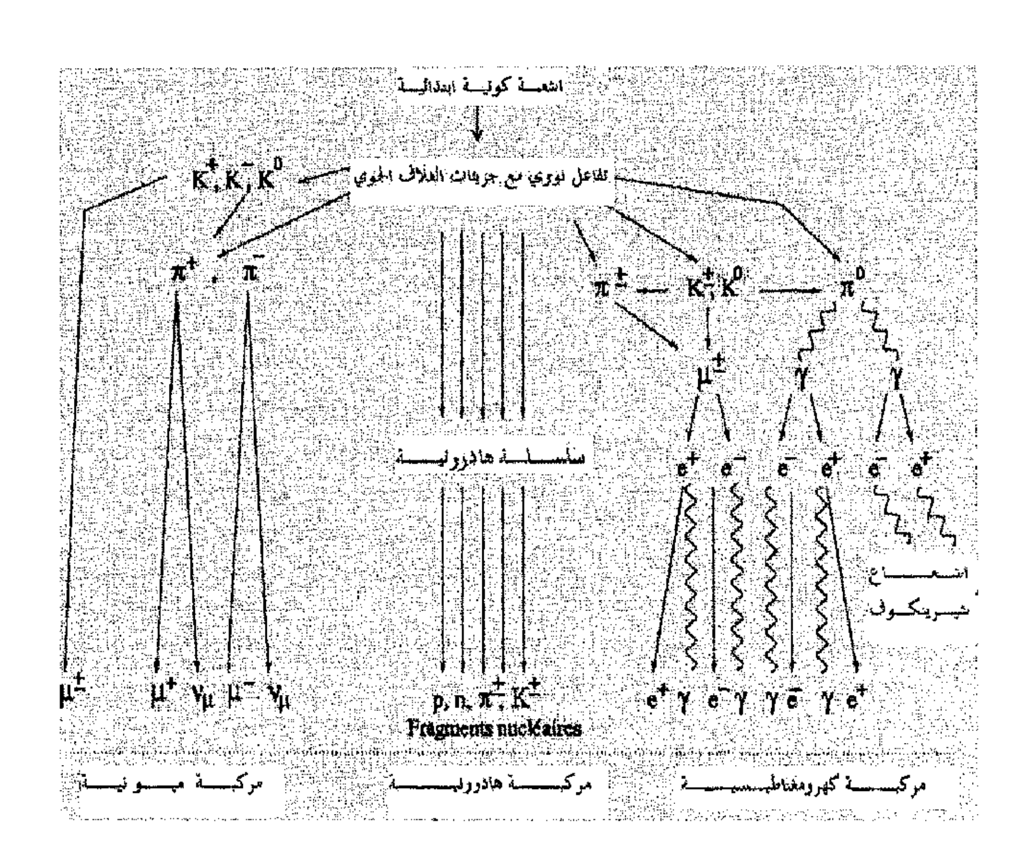
من أهم التفاعلات التي تحدث في الغلاف الجوي بين الأشعة الكونية الابتدائية وجزيئات الغلاف الجوي تلك التي تشعلها الجسيمات ذات الطاقات العالية جدا (تفاعلات نووية)، حيث يتبع التصادم الأول بسلسلة من التفاعلات (تصادمات و تفككات)، ينتج عنها الآلاف وحتى الملايين من الجسيمات الثانوية تسمى هذه السلاسل، الزخات الهوائية و يوجد نوعين من

هذه السلاسل هما:

- **السلاسل الهادرونية Hadronic Cascade**

و تمثل الحزم التي تنتج عن تصادم البروتونات أو النوى بجزيئات الهواءأ ينتج عن التصادم الأول الهادرونات (الشكل (3-5)) وهي البايونات π^-,π^0,π^+ والكايونات $K^0,K^\pm$ حيث تشكل البايونات الأغلبية العظمى، زمن حياة للبايونات المتعادلة π^0 قصيرة جدا (8.4×10^{-17} sec) تتفكك بعدها إلى فوتوني كاما

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$



الشكل (3-5)

مركبات السلسلة الهادرونية

ينتج عن تفاعل هذه الفوتونات مع النوى تشكل الزوج e^-, e^+

$$\gamma \to e^- + e^+$$

والأزواج بدورها وعن طريق الكبح تؤدي إلى إصدار إشعاعات كهرومغناطيسية.

والبايونات المشحونة π^-, π^+، ذات الطاقات العالية ينتج عن تفاعلاتها (بايونات أخرى) مشحونة ومتعادلة (تتكرر هذه العملية عدة مرات إلى أن تبلغ طاقة البايونات القيمة الحرجة $E_C^{\pi} = 9GeV$ تبدأ عندها بالتفكك الى ميونات ونيوترينات) زمن الحياة للبايونات $\pi^{\pm}$ هو$(2.6\times10^{-8}\sec)$

$$\pi^{\pm} \to \mu^{\pm} + \nu_{\mu}(\nu_{\bar{\mu}})$$

بعد مسار طويل نسبيا تتفكك الميونات إلى الكترونات و نيوترينات:

$$\mu^{+} \to e^{+} + \nu_{e} + \nu_{\bar{\mu}}$$

$$\mu^{-} \to e^{-} + \nu_{\bar{e}} + \nu_{\mu}$$

تتفكك الكايونات وفق قنوات كثيرة، تظهر فيها جميعا البايونات، الميونات والأزواج e^-, e^+ وفوتونات كاما:

$$K^{\pm} \to \pi^{\pm} + \pi^{+} + \pi^{-}$$

$$K^{\pm} \to \pi^{\pm} + \pi^{0}$$

$$K^{\pm} \to \mu^{\pm} + \nu_{\mu}$$

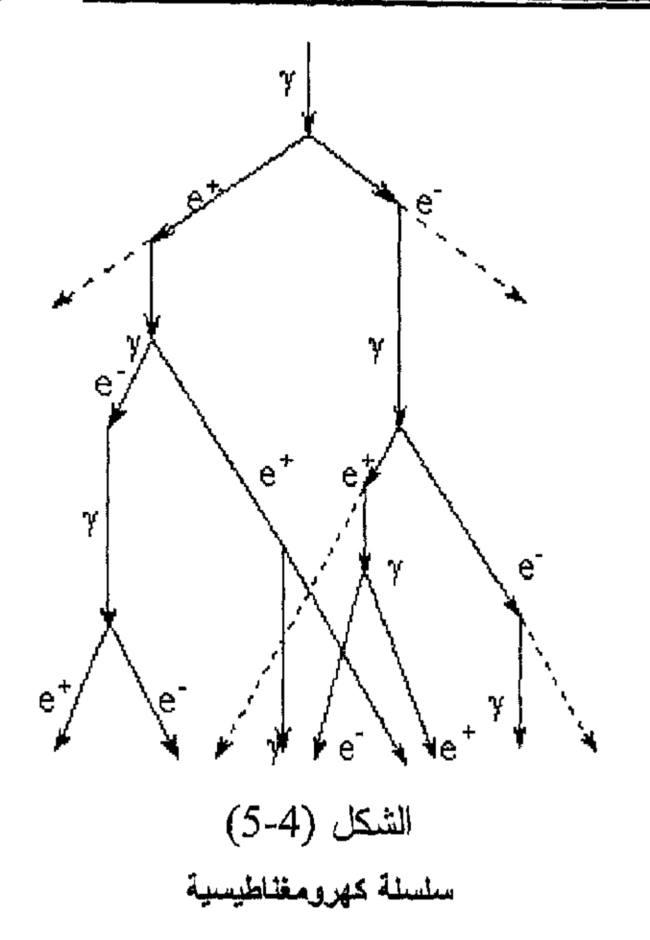
تحتوي الحزم الهادرونية بصفة عامة على ثلاثة مركبات هي: المركبة الهادرونية والميونية والكهرومغناطيسية. مع العلم أن كل مركبة تأخذ اسمها من النواتج النهائية للسلسلة.

- السلاسل الكهرومغناطيسية Electromagnetic Cascade

وتمثل سلسلة التفاعلات التي تشعلها جسيمات خفيفة وذات طاقة عالية مثل الفوتونات أو الالكترونات (البوزترونات)، تحتوي هذه الحزم على الالكترونات، البوزترونات والفوتونات وتتميز بالانتظام وأهم العمليات الفيزيائية التي تحدث فيها، هي تحول الفوتونات إلى أزواج من الالكترونات والبوزترونات، الإشعاع عن طريق الكبح

$$e^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \gamma$$

وتأثير كومتون (Compton effect)، إضافة إلى عمليات أخرى بمعدلات ضعيفة . بالإضافة إلى تواجد هذه الحزم بشكل مستقل فإنها تتواجد أيضا بشكل ثانوي في الحزم الهادرونية. أنظر الشكل (4-5) .



الشكل (5-4)
سلسلة كهرومغناطيسية

5-5 تأثير المجال المغناطيسي الأرضي

الأشعة الكونية الابتدائية وكذلك أغلبية الأشعة الكونية الثانوية هي جسيمات مشحونة وعليه فان مساراتها تتعرض للانحناء عندما تدخل المجال المغناطيسي الأرضي مما يؤدي إلى تغيير وجهتها نحو أماكن أخرى من الفضاء ومنعها بالتالي من بلوغ سطح الأرض . تسمى هذه الظاهرة بالقطع المغناطيسي وهي عدم قدرة الجسيمات المشحونة التي تدخل المجال المغناطيسي الأرضي على بلوغ سطح الأرض إلا إذا كانت تمتلك على الأقل حدا أدنى من الصلادة المغناطيسية أو الطاقة، تتعلق هذه القيمة بموقع واتجاه

دخول الجسيم مجال الأرض المغناطيسي.

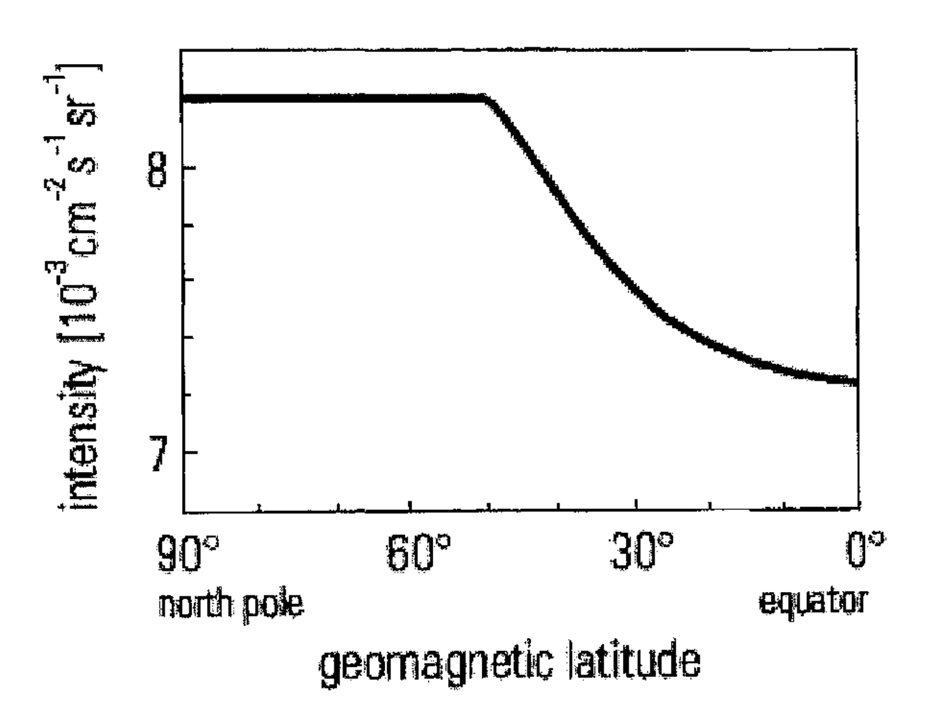
تتغير شدة المجال المغناطيسي الأرضي بين القطبين وخط الاستواء وهذا يؤدي إلى تغير الحد الأدنى من الصلادة وبالتالي كثافة الأشعة الكونية بتغير خط العرض، لذلك يسمى هذا الارتباط تأثير خط العرض (latitude effect)

لوحظ أيضا أن كثافة الأشعة الكونية تتغير بالنسبة لخط عرض معين من نقطة إلى أخرى ويرجع ذلك إلى عدم تمركز عزم ثنائي القطب المغناطيسي، يسمى هذا التغير تأثير خط الطول (longitude effect) إضافة إلى تأثيري خط العرض وخط الطول هناك أيضا تأثير الشرق- غرب (east-west) ويتمثل في كون عدد الجسيمات المتحركة من الشرق نحو الغرب اكبر بكثير من عدد الجسيمات المتحركة من الغرب نحو الشرق، و يرجع ذلك لكون الأغلبية العظمى من الأشعة الكونية الابتدائية عبارة عن بروتونات.

5-5-1 تأثير خط العرض latitude effect

إن تأثير خط العرض هو نتيجة مباشرة لعملية القطع المغناطيسي، حيث تتعلق قيمة طاقة القطع بشدة المجال المغناطيسي، وبما أن شدة المجال تتغير من خط عرض لآخر، فان طاقة القطع تتعلق بخط العرض الذي يدخل منه الجسيم مجال الأرض المغناطيسي .تتطلب مثلا البروتونات الابتدائية التي ترد إلى الأرض عند المستوى الاستوائي وبشكل عمودي طاقة أعلى من 15

GeV كي تبلغ سطح الأرض بينما تحتاج فقط إلى 2.7 GeV عند خط العـرض 50^0 يبين هذا المثال أن فيض (كثافة) الأشعة الكونية يزداد باتجاه القطبـين . إن التغير في الفيض (الكثافة) بدلالة خط العرض لا يستمر حتى بلوغ القطبين بل يتوقف عند خط عـرض معـين مشـكلا مـا يسـمى الركبـة (knee) كمـا في الشكل (5-5) حيث تظهر الركبة بالنسبة للميونـات عنـد خـط العـرض 40^0 ، وتظهر بالنسبة للنيوكليونات عند خط العرض 55^0.



الشكل (5-5)
تأثير خط العرض

الجدول (1-5) يعطي تأثير خط العرض بالنسبة للبروتونات الابتدائية.

الجدول (5-1)

درجة خط العرض	0	41	50	58
طاقة القطع العمودية GeV	15	5	2.7	1.4
فيض البروتونات $m^{-2}s^{-1}sr^{-1}$	$2.8x10^{-2}$	$7.3x10^{-2}$	$18x10^{-2}$	$29x10^{-2}$

5-5-2 تأثير شرق - غرب East - West effect

عندما تم قياس تدفق الجسيمات عند نقطة تصنع زاوية قطبية θ وزاوية استوائية Φ وجد أن الفيض من ناحية الشمال $I_n(\theta)$ والفيض من ناحية الجنوب $I_s(\theta)$ متساويانً في حين وجد أن الفيض من ناحية الغرب $I_w(\theta)$ أكبر من الفيض من ناحية الشرق $I_e(\theta)$، سميت هذه الظاهرة بتأثير شرق – غرب.

فسر تأثير شرق- غرب بكون طاقة القطع المغناطيسي تتعلق بزاوية الورود، فطاقة القطع المغناطيسي مثلا عند خط الاستواء بالنسبة للجسيمات الواردة من الشرق هي 60 GeV بينما لا تتجاوز أل 10 GeV بالنسبة للجسيمات الواردة من الغرب، وعليه فان القسم الأكبر من الطيف الأتي من الشرق يتم اعتراضه.

يتعلق المفعول شرق-غرب بكل من الزاوية القطبية θ، وارتفاع h ودرجة خط العرض λ، كما أنه يتأثر بعامل آخر وهو سمك الغلاف الجوي، تتناقص

سماكة الغلاف الجوي كلما توجهنا نحو القطبين ما يعني زيادة كثافة المادة التي تؤدي إلى زيادة الفقد (زيادة عامل الخمود) . ينتج عن هذا العامل اختفاء تأثير شرق-غرب عند خط العرض (تقريبا 60^0) بعد هذا الخط تكون كل الجسيمات الواردة من الغرب ذات الطاقات الضعيفة (هذه الجسيمات هي المسببة للمفعول شرق -غرب) قد اختفت. يوصف المفعول شرق-غرب بدلالة المعادلة الآتية:

$$\varepsilon = \frac{I_W(\theta) - I_e(\theta)}{1/2\left(I_W(\theta) + I_e(\theta)\right)} = \varepsilon(\theta, \lambda, h) \qquad (5-6)$$

وهذه المعادلة تتصف بالصفات الآتية:

$\varepsilon(h_2) > \varepsilon(h_1)$	من أجل	$h_2 > h_1$
$\varepsilon(\theta_2) > \varepsilon(\theta_1)$	من أجل	$\theta_2 > \theta_1$
$\varepsilon(\lambda_2) < \varepsilon(\lambda_1)$	من أجل	$\lambda_2 > \lambda_1$

الجدول (5-2) يبين تغيرات المفعول شرق-غرب بدلالة درجة خط العرض عند مستوى سطح البحر وزاوية $\theta = 60^0$.

الجدول (5-2)

درجة العرض	0	20	30	50
اللاتناظر $\varepsilon(\lambda)$	0.15	0.07	0.05	0.02

6-5 المجال المغناطيسي الأرضي الحقيقي

تتأثر كل من شدة المجال المغناطيسي الأرضي واتجاهه في كل نقطة من نقاطه بعاملين أساسيين احدهما داخلي (جيولوجي) ويتمثل في عدم استقرار البنية الباطنية للأرض وعدم تجانس توزيع المكونات، أما العامل الأخر فهو خارجي ويتمثل في الرياح الشمسية والتيارات الحلقية التي تسببها الجسيمات المحتجزة داخل منطقة الماغنيطوسفير (magnetosphere) تؤدي هذه العوامل إلى نوعين من التغيرات في المجال المغناطيسي، النوع الأول هو تغيرات محلية في شدة واتجاه المجال وهي تغيرات تحدث خلال فترات زمنية قصيرة (من بضعة ثواني إلى غاية عدة سنوات)أ وتظهر على شكل اهتزازات حول قيمة معينة لشدة المجال، هذه التغيرات يسببها بشكل أساسي العامل الخارجي إضافة إلى التيارات التي تسببها حركة المواد الغنية بالحديد الموجودة بباطن الأرض (مبدأ التوليد dynamo لفاراداي Faraday) أما النوع الثاني فهو تغيرات مستمرة بعيدة المدى ويسببها حصرا العامل الجيولوجي أي عدم استقرار البنية الداخلية للأرض. فقد أثبتت عمليات القياس أن شدة المجال المغناطيسي تتناقص باستمرار بمعدل 0.05% لكل سنة. كما أن مقر القطبين يتغير أيضا باستمرار بحيث يتراوح محور المجال المغناطيسي بمعدل 0.014% كل سنة (اثبت علم التاريخ المغناطيسيpaleomagnetic أن المجال غير

اتجاهه 171 مرة خلال أل 75 مليون سنة الأخيرة).

إن هذه التغيرات جعلت من التعبير عن المجال المغناطيسي الأرضي بدالة تحليلية أمرا مستحيل و لذلك فقد تم اللجوء إلى وضع نماذج عددية للمجال المغناطيسي الأرضي، تعتمد كل النماذج العددية على العمل الذي قدمه فريديريك كاوس سنة 1838، التغيرات التي يحدثها العامل الخارجي تمثل (1 %) تأخذ في الحسبان التغيرات الناجمة عن العامل الجيولوجي واعتبر المجال المغناطيسي مشتق من انحدار الجهد:

$$B(r,\theta,\Phi,t) = -\nabla V(r,\theta,\Phi,t)..................(5-7)$$

حيث

$$V(r,\theta,\Phi,t) = \sum_{l=1}^{N}\sum_{m=0}^{l}\left(\frac{a}{r}\right)^{l+1}\left(g_l^m(t)\cos(m\Phi)h_l^m(t)\sin(m\Phi)\right)P_l^m(\cos\theta)..................(5-8)$$

حيث أن $P_l^m(\cos\theta)$ هو متعدد حدود ليجندر المرافق (associated Legender polynomial) وهي تحقق الشرط الأتي:

$$\oint \left(P_l^m(\cos\theta)\right)^2 d\Omega = \frac{4\pi}{2l+1}..........\quad.........(5-9)$$

المعاملات $g_l^m(t)$ و $h_l^m(t)$ هي معاملات كاوس ويتم الحصول عليها بواسطة القياس المباشر للمجال المغناطيسي الأرضي. العدد الطبيعي N، يتم اختياره على حسب الدقة المطلوبةً يشار هنا إلى انه هناك علاقة تربط بين هذا العدد وعدد عمليات القياس المباشر اللازمة وهي:

عدد عمليات القياس = $(N+1)^2 - 1$

أما الثابت a فهو نصف قطر الأرض (6371.2 كيلو متر).

5-7 المجال المغناطيسي للشمس

من أجل استيعاب كيف تتمكن الأشعة الكونية من السماح بتشكيل الغيوم يجب علينا أن نفهم تفاعل الأشعة الكونية مع غازات الطبقات العليا للأرض. الأشعة الكونية تتألف من جزيئات ذات شحنات كهربائية، مثلا البروتونات، والتي تنتقل عبر الفضاء الكوني بسرعة عالية للغاية تصطدم بجزيئات من المجرة ليرتد قسم منهم بفعل الغطاء المغناطيسي الواقي (heliosfer)، والذي يحمي المجموعة الشمسية بأسرها هيليوسفير يعتبر امتداد لحركة الشمس. إذ أن الشمس ترسل باستمرار جزيئات مشحونة كهربائيا تسمى الرياح الشمسية يقومون بنقل مجال الجاذبية الشمسية إلى حدوده القصوى، ليصبح درعا ضد الأشعة الخارجية. مقدار الكمية التي يسمح لها بالعبور عبر المجال المغناطيسي هيليوسفير، من المجال المغناطيسي المتغيرة بالارتباط مع النشاط الشمسي.

الأشعة الكونية، التي تتدخل تهطل على جو الأرض كمطر كوني. عندما يصطدم البروتون على الأرض تتحرر المليارات من ما تحت الجزيئات، والتي تستمر بالدخول في أعماق طبقات المجال الأرضي محررين الاليكترونات من

الغاز الجوي. عند هذا الحد ينتهي أتفاق الأنواء. نظرية سفينمارك تتابع توضيح الأمر بأن هذه الالكترونات المحررة هي التي تكون الغيوم في طبقات الجو. من خلال التجربة المختبرية تمكن من الوصول إلى آلية العملية (الميكانيزم).

الغيوم تتشكل عندما تتبخر المياه إلى مليارات الأجزاء الصغيرة . بخار الماء يتكثف وفي الجو تقدم الجزيئات: أيروزول، أفضل الأماكن للتكثف لتشكيل الغيوم. جزيئات الايروزول يجب أن تمتلك أبعادا معينة حتى يكون قادرين أن يصبحوا ذرات تكثيف للغيوم.

تماما كما في جو الأرض، تملك غرفة الغيوم جزيئات ميكروسكوبية من ذرات حامض ليقوم مقام أيروزول التكثيف. الجزيئات الالكترونية المتحررة من الأشعة الكونية تساعد جزيئات حامض الكبريت على جعلهم مستقرين خلال عملية نموهم ليصلوا الأبعاد الصغيرة ليقوموا بمهمة خلق الغيوم. أذا عزلنا الأشعة الكونية عن الدخول إلى غرفة الغيوم، ليختل استقرار تشكل ذرات الحوامض الكبريتية لدرجة أنها تنهار. بمعنى ذرات الحوامض الكبريتية لن تستطيع أبدا أن تكون مكثف لذرات الماء وبالتالي لن تتشتت.

عند أعادة السماح للأشعة الكونية بالدخول يجري الشحن الكهربائي لذرات الغاز في غرفة الغيوم مما يؤدي إلى خلق الكترونات حرة، تقوم بدورها بالعمل على استقرار حامض الكبريت.

8-5 دور الأشعة الكونية في تغير مناخ الأرض

على مدى المئة سنة الأخيرة ارتفعت درجة حرارة جو الأرض بشكل كبير وقد أثارت نقاشات حادة على أعلى المستويات، حول من يتحمل مسؤولية ذلك. أغلب العلماء مقدرين ذلك بسبب استهلاكنا المتزايد من الطاقة العضوية كالنفط والفحم.

في المركز الفضائي الدنماركي يعمل الباحث في الأنواء الجوية .K Svensmark وهو يصر على أن الأشعة الكونية ، بالارتباط مع تأثير التغيرات الطبيعية في المجال المغناطيسي للشمس، وهي المسبب الرئيسي لارتفاع درجات الحرارة . أحدى أدلته على ذلك تطابق بين التغيرات التي تحدث في المجال المغناطيسي للشمس والتبدلات الحرارية على الحقل المغناطيسي للشمس ليس هو المسئول مباشرة، وإنما التأثير الذي يحدث بسبب سلوك الأفعال وردود الأفعال.

ومن المعروف أن المجال المغناطيسي للشمس هو الذي يقرر كمية الأشعة الكونية التي بالأرض. الجديد والمثير في النظرية الجديدة هو أن الأشعة الكونية لها قدرة تحكم كبيرة في تشكيل الغيوم التي ستتشكل في طبقات الجو العليا، والغيوم تقوم بعكس أشعة الشمس إلى الفضاء الخارجي، مما يعني أن الغيوم هي التي تقرر درجة حرارة الأرض. هذه النظرية سفينمارك قام بتأكيدها، إذ أن

القياسات أثبتت أن التغيرات في غطاء الغيوم يترافق في مستوى الأشعة الكونية. ومع ذلك فأن هذا الدليل لم يكن كافيا لإقناع المنتقدين. في عام 1986، حيث قدم نظريته، والمعارضين يطالبون بجدول مفصل يستعرض آلية هذه التغيرات.

هذه الآلية تمكن سفينمارك اليوم من التوصل إليها عبر التجارب المختبرية وتضمن اختبارات في غرفة الغيوم، وهي غرفة مختبرية أنشأت خصيصا لدراسة التغيرات المماثلة في طبقات جو الأرض. في غرفة الغيوم من الممكن تحييد الأشعة الكونية التي تتعرض أليها الأرض، وعندما يفعل ذلك نجد أن الغيوم لا تتشكل في طبقات محيط التجربة وتعود إلى التشكل عندما يسمح للأشعة الكونية بالعبور.

References

- **Jean-Louis** Basdevant, James Rich and Michel Spiro Fundamentals in Nuclear Physics, 2004.

- **J. S. Lilley** *Nuclear Physics* (Wiley, Chichester, 2001).

- F. Dyson in *Aspects of Quantum Thoery* edited by A. Salam and E.P.

Wigner (Cambridge U. Press, Cambridge, 1972).

- **Peter K.F Grieder** *Cosmic ray at earth* , Elsevier , 2001.

- **S.Hayakawa** , *Cosmic ray Physics* , wiley , interscience , 1969 .

- **Otto Claus allkofer** , *Introduction to cosmic radiation* , Verlag karl thiemig- Munchenm 1975 .

-**Bogden Povh** , ***et al.***, *particles and nuclei* , Springer , 2006.

-**J. Trampetic** , **J.Wess.** *Particle Physics and the Universe*, Springer , 2004 .

فهرس المحتويات

